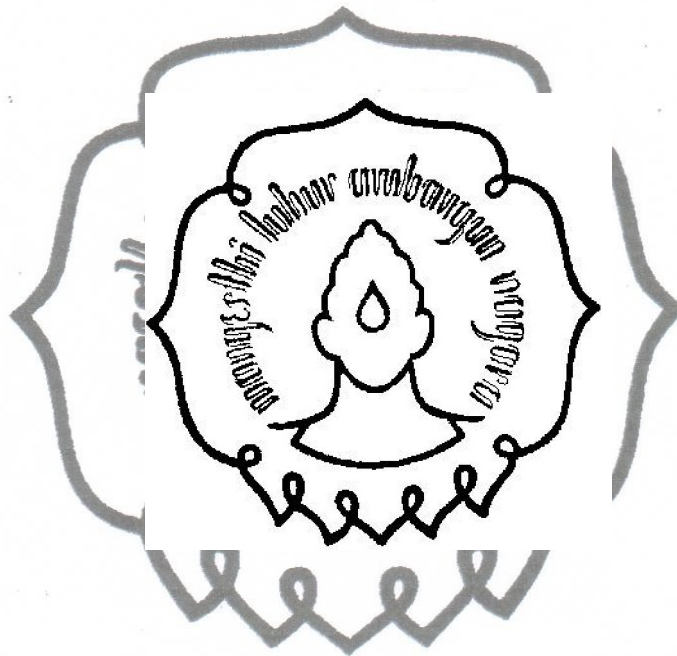


**PERANCANGAN FORCE PLATFORM UNTUK MENGUKUR  
GROUND REACTION FORCE (GRF) DAN MENENTUKAN  
CENTER OF PRESSURE (COP) MENGGUNAKAN  
TRANSMISI FREKUENSI RADIO (RF)**

**Skripsi**

Sebagai Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



**DWI SAMTO  
NIM. 1 0306030**

**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA**

**2011**  
*commit to user*

## ABSTRAK

**Dwi Samto. NIM I0306030. PERANCANGAN FORCE PLATFORM UNTUK MENGUKUR GROUND REACTION FORCE (GRF) DAN MENENTUKAN CENTER OF PRESSURE (COP) MENGGUNAKAN TRANSMISI FREKUENSI RADIO (RF). Skripsi. Surakarta: Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Desember 2010.**

Jurusan Teknik Industri Universitas Sebelas Maret melakukan penelitian tentang *gait analysis* untuk orang normal dan *amputee* yang menggunakan kaki *prosthetic*. Dalam perkembangannya, analisis mengenai *ground reaction force* (GRF) dan *center of pressure* (COP) menjadi bahasan yang penting. Menghitung GRF dan COP dengan perhitungan matematika memerlukan waktu lama dan menghasilkan perhitungan yang tidak sederhana. Cara yang lebih mudah dalam menganalisis diperlukan perangkat yang dapat mengukur GRF dan COP yang disebut *force platform*. *Force platform* yang ada dipasaran sangat mahal dan masih menggunakan sistem kabel untuk transmisi data yang berpotensi mengganggu kenyamanan pengguna. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang *force platform* dengan transmisi data tanpa kabel menggunakan modul frekuensi radio (RF).

Penelitian dimulai dengan mengidentifikasi karakteristik design *force platform* yang ada di pasaran. Tahapan selanjutnya yaitu merancang *force platform* yang terdiri dari bagian mekanik dan sistem kendali. *Force platform* rancangan kemudian direalisasikan dan diuji untuk pengukuran GRF dan COP. Pengukuran GRF dilakukan terhadap 3 laki-laki normal yang berjalan. Pengukuran dilakukan 30 kali untuk kaki tumpuan kanan dan kaki tumpuan kiri dengan tujuan mengetahui keterulangan hasil pengukuran. Pengukuran pergeseran COP dilakukan terhadap objek laki-laki normal yang berdiri pada tiap kuadran *force platform* sehingga dapat diketahui apakah tiap posisi mempunyai karakteristik yang sama.

Hasil penelitian ini berupa *force platform* dengan transmisi RF yang telah dilakukan pengujian untuk pengukuran GRF dan COP. Hasilnya kurva GRF memberikan kurva sesuai referensi orang normal dengan keterulangan yang baik. Pengukuran pergeseran COP memberikan hasil bahwa setiap kuadran berdistribusi normal. *Software* pada perangkat ini masih sebatas penyimpanan data, perhitungan dan penyajian kurva masih menggunakan *ms excell*.

Kata kunci: *force platform*, *Radio Frequency (RF)*, *Ground Reaction force (GRF)*, *Center of Pressure (COP)*

xvi + 91 halaman.; 64 gambar; 10 tabel

Daftar pustaka: 20 (1981 - 2010)

**ABSTRACT**

**Dwi Samto. NIM I0306030. THE DESIGN OF FORCE PLATFORM WITH RF TRANSMISSION FOR GRF MEASUREMENT AND COP DETERMINATION. Final Assignment. Surakarta: Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Sebelas Maret University, Desember 2010.**

Department of Industrial Engineering Sebelas Maret University have been conducting many researchs on gait analysis for the normal and amputee who uses prosthetic leg. Later, the analysis of Ground Reaction Force (GRF) and Center of Pressure (COP) have be came important discussion. Calculating the GRF and COP with mathematical calculations are not simple and takes a long time. The simple way to analize it is by utilizing a device that can measure the GRF and COP which is called a force platform. Force platforms which are available on the market are very expensive and still equiped with a cable for data transmission that potentially interrupt the using comfort of the device. Therefore, this study aims to design the force platform with wireless data transmission using radio frequency module (RF).

The study began by identifying the characteristics of previous force platform designs available on the market. The next stage was designing the force platform consisting of the mechanical and control system. Than the design was built and tested for the measurement of GRF and COP. GRF measurements was conducted toward each three walking normal male. 30 trials of measurements were taken for the each left and right pedestal to assess the repeatability aspect. A sway of COP measurements are conducted toward the object of normal male who stood on the force platform in each of platform quadrant in order to make sure whether the COP data having similar characteristic for every position of the platform.

The result is a force platform with RF transmission that has passed the GRF and COP data test. The results showed GRF curve provide similar shape to reference of normal people with good repeatability. The sway of COP measurements in each quadrant already showed normal distribution. Unfortunately, the software for this device was still limited for processing and presentation. The curve was still using MS Excel.

Key word: force platform, Radio Frequency (RF), Ground Reaction force (GRF), Center of Pressure (COP)

*xvi + 91 p.; 64 pictures; 10 tables*

*Reference: 20 (1981 - 2010)*

*commit to user*

## BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini diuraikan beberapa hal pokok mengenai penelitian ini, yaitu latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan masalah dan asumsi, serta sistematika pembahasan.

### 1.1 LATAR BELAKANG

Perhitungan gaya-gaya pada anggota gerak tubuh manusia dalam tiga dimensi sangat kompleks (Medved, 2001). Kompleksitas pendekatan biomekanik terdapat pada perhitungan gaya yang terjadi. Melalui *free body diagram* dapat digambarkan arah gayanya, kemudian dihitung gaya yang terjadi di setiap *link* dan *joint*. Cara seperti ini menghasilkan perhitungan yang tidak sederhana. Sesuai hukum Newton yang ketiga, jika ada suatu benda menekan benda lain maka terjadi gaya aksi dan reaksi yang besarnya sama dengan arah yang berlawanan. Begitu juga pada saat berdiri atau pun berjalan ada gaya yang mempengaruhi tubuh yang ditimbulkan karena reaksi dari tanah disebut sebagai gaya reaksi tanah (*ground reaction force*). Pada studi biomekanik, pengukuran *ground reaction force* digunakan untuk meneliti kegiatan manusia ketika berdiri, berjalan, atau berlari (Cross, 1999).

Pengukuran gaya reaksi tanah (*ground reaction force*) dan *center of pressure*, umumnya menggunakan *force platform* (Payton dan Bartlett, 2008). Pada tahun 1930 Wallace Fenn membuat *force platform* yang dapat mengukur komponen gaya hanya dalam arah vertikal dan kemudian Elftman berhasil membuat *force platform* yang mampu mengukur tiga komponen gaya pada tahun 1938. Di tahun 2006, Laboratorium *Gait Analysis* University of Connecticut merancang dan membuat *force platform* untuk kemajuan program biomekanik yang menggunakan *load cell* sebagai sensor. Pada tahun 2008, Worcester Polytechnic Institute merancang dan membuat *force platform* untuk laboratorium *gait analysis*. Komersial *force platform* pertama kali diproduksi oleh Kisler pada tahun 1969, menggunakan prinsip *piezo-electric*. Tahun 1976 Advanced Mechanical Technology Incorporated (AMTI) memperkenalkan *strain gauge*

*force platform* yang dapat mengukur *ground reaction force* dengan harga lebih murah.

Jurusan Teknik Industri Universitas Sebelas Maret melakukan penelitian tentang *gait analysis* untuk orang normal dan *amputee* yang menggunakan kaki *prosthetic*. Dalam perkembangannya, analisis mengenai *ground reaction force* dan *center of pressure* menjadi bahasan yang penting. Oleh karena itu, diperlukan bioinstrumen berupa *force platform* untuk mengukur *ground reaction force* sehingga memudahkan dalam melakukan analisis hasil rancangan kaki *prosthetic* yang dikembangkan.

Hasil pembacaan data yang dihasilkan *force platform*, umumnya dikirim melalui kabel ke seperangkat komputer untuk dikumpulkan, disimpan, diolah dan ditampilkan dalam bentuk grafik maupun angka. Kekurangan sistem kabel, seperti persiapan yang lama karena harus menghubungkan beberapa peralatan menggunakan kabel penghubung. Jika banyak menggunakan kabel di tempat eksperimen, mengakibatkan objek menjadi terganggu pada saat berjalan. Sebagai alternatif untuk mengatasi permasalahan tersebut, pengiriman data digunakan tanpa kabel dengan teknologi frekuensi radio (RF).

Berdasarkan permasalahan yang ada, maka perlu dirancang suatu bioinstrumen *force platform* dengan pengiriman data tanpa kabel menggunakan frekuensi radio (RF). Adanya rancangan bioinstrumen ini, diharapkan dapat membantu perkembangan penelitian biomekanik di Jurusan Teknik Industri Universitas Sebelas Maret.

## 1.2 PERUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang di atas maka perumusan masalah yang diangkat adalah bagaimana merancang *force platform* dengan transmisi data tanpa kabel menggunakan modul frekuensi radio (RF).

## 1.3 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian pada tugas akhir ini bertujuan merancang *hardware* dan program sistem *force platform* untuk mengukur *ground reaction force* (GRF) dan  
*commit to user*



menentukan letak *center of pressure* (COP) dengan transmisi data tanpa kabel menggunakan modul frekuensi radio (RF).

#### 1.4 MANFAAT PENELITIAN

Adapun manfaat yang dicapai dalam penelitian ini yaitu menghasilkan bioinstrumen *force platform* yang dapat digunakan untuk penelitian di bidang biomekanik dalam *gait analysis*.

#### 1.5 BATASAN MASALAH

Batasan masalah dari penelitian perancangan *force platform* yaitu:

1. Pembacaan *ground reaction force* diutamakan pada arah vertikal.
2. Kalibrasi hasil rancangan *force platform* dilakukan menggunakan beban statik.
3. *Force platform* dirancang untuk satu kaki dalam satu kali pengambilan data untuk objek berjalan.
4. *Force platform* diuji coba untuk orang normal, validasi data hasil pengukuran juga berdasarkan referensi orang normal.

#### 1.6 ASUMSI PENELITIAN

Asumsi yang digunakan pada penelitian ini untuk mendekatkan segi teoritis dengan kondisi sebenarnya, sebagai berikut:

1. Empat *load cell* memiliki karakteristik yang identik.
2. *Force platform* berada satu level dengan tanah ketika proses pengukuran *ground reaction force* untuk objek yang berjalan pada *force platform*.

#### 1.7 SISTEMATIKA PENULISAN

Penyusunan tugas akhir ini terbagi menjadi beberapa bab yang berisi uraian penjelasan dan dibagi kembali dalam beberapa topik sub bab. Secara garis besar, uraian pada bab-bab dalam sistematika penulisan, dijelaskan di bawah ini.

**BAB I : PENDAHULUAN**

Bab ini menguraikan berbagai hal mengenai latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, asumsi-asumsi dan sistematika penulisan.

**BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menguraikan teori-teori yang akan dipakai untuk mendukung penelitian, sehingga perhitungan dan analisis dilakukan secara teoritis. Tinjauan pustaka diambil dari berbagai sumber yang berkaitan langsung dengan permasalahan yang dibahas dalam penelitian.

**BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini berisi tahapan yang dilalui dalam penyelesaian masalah secara umum yang berupa gambaran terstruktur dalam bentuk *flowchart* sesuai dengan permasalahan yang ada.

**BAB IV : PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Bab ini berisi data dan informasi yang diperlukan untuk perancangan sebuah *force platform*, kemudian dari data dan informasi yang diperoleh dibuat rancangan untuk *force platform* dan perangkat untuk pembacaan sinyal dari *force platform* ke *database* komputer.

**BAB V : ANALISIS DAN INTERPRETASI HASIL**

Bab ini memuat uraian analisis dari hasil dari perancangan dan percobaan pengukuran menggunakan *force platform* yang telah dirancang.

**BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini menguraikan target pencapaian dari tujuan penelitian dan kesimpulan yang diperoleh dari pembahasan masalah. Bab ini juga menguraikan saran dan masukan bagi kelanjutan penelitian.

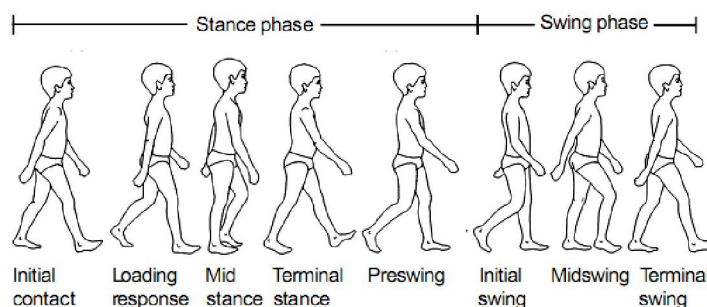
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan membahas beberapa teori yang digunakan untuk mendukung penelitian yang dilakukan.

### 2.1 GAIT CYCLE

Siklus jalan (*gait cycle*) dapat dibagi menjadi dua fase yang berbeda. Fase pertama adalah *stance phase* (fase berdiri), yaitu fase ketika kaki berada di tanah. Fase kedua adalah *swing phase* (fase mengayun), digunakan untuk periode waktu ketika kaki tidak menyentuh tanah. Dua periode ini adalah dasar yang membentuk tiga interval kontak kaki dengan tanah. Interval pertama sama baik pada awal dan akhir siklus, dan disebut sebagai *initial* atau *final double limb stance*. Selama posisi ini kedua kaki berada dalam kontak dengan tanah. Interval kedua terjadi baik pada bagian kedua dan keempat dari siklus jalan (*gait cycle*). Interval ini disebut sebagai *single limb support*. Selama interval ini satu kaki berada di tanah (*stance*), sementara kaki yang lain pada periode ayunan (*swing*). Interval yang terakhir terjadi selama tengah siklus jalan dan disebut *terminal double stance* (Perry,1992). Interval ini dimulai dengan kontak lantai oleh kaki (awalnya berayun), dan berlanjut sampai kaki tumpuan diangkat untuk *swing* (Perry,1992).

Periode *stance* dapat dibagi menjadi lima tahap dengan urutan *initial contact* (IC), *loading respon* (LR), *midstance* (MST), *terminal stance* (TST) dan *preswing* (PSW). Fase ayunan (*swing*) dipecah menjadi tiga tahap yang terjadi dalam urutan *initial swing* (ISW), *mid-swing* (MSW) dan *terminal swing* (TSW). Gambaran dari fase siklus jalan (*gait cycle*) dapat dilihat pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1 Fase gait cycle**

Sumber: Vaughan, 1999

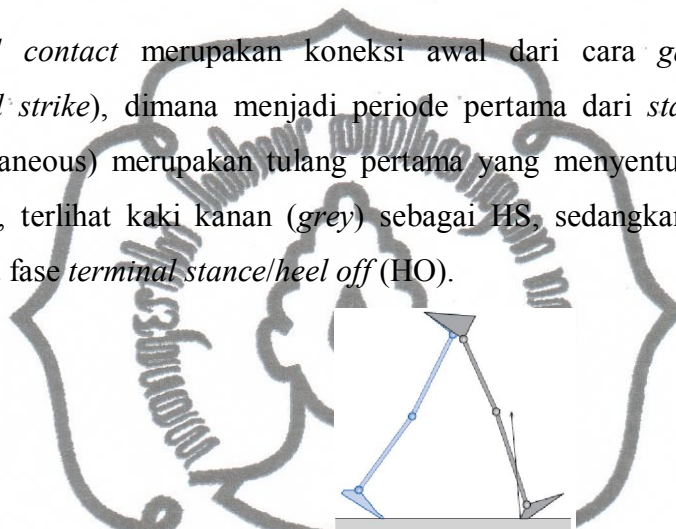


Masing-masing sub fase memungkinkan anggota tubuh bagian bawah untuk menyelesaikan tiga tugas fungsional dasar *gait* yaitu penerimaan berat (*weight acceptance*), tumpuan satu anggota badan (*single-limb support*) dan majunya anggota tubuh (*limb advancement*) (Perry,1992).

Fase pada masing-masing *gait cycle* senagi berikut:

### 1. *Initial Contact/Heel Strike (HO)*

*Initial contact* merupakan koneksi awal dari cara *gait cycle* (*initial contact/heel strike*), dimana menjadi periode pertama dari *stance phase*. *Heel Strike* (calcaneous) merupakan tulang pertama yang menyentuh landasan. Pada gambar 2.2, terlihat kaki kanan (grey) sebagai HS, sedangkan kaki kiri (biru) berada pada fase *terminal stance/heel off* (HO).



**Gambar 2.2 Gerakan kaki pada fase initial contact**

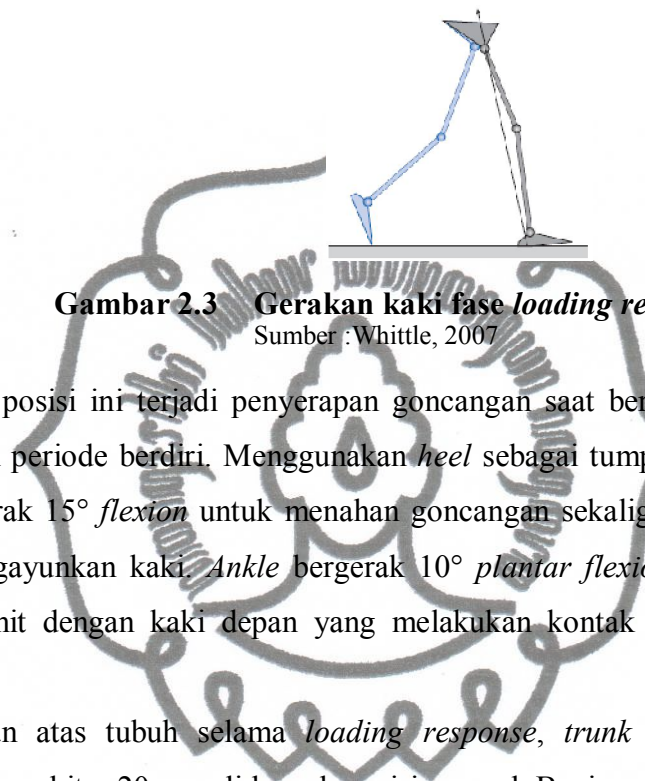
Sumber :Whittle, 2007

Bagian anggota gerak bawah dalam posisi ini menjaga stabilisasi awal dalam periode berdiri. Sesaat kaki mengenai landasan, bagian *hip* bergerak *flexion* sebesar  $25^\circ$ , *ankle* bergerak *dorsiflexion* sejauh  $0^\circ$ - $10^\circ$  menuju posisi normal, dan lutut dalam keadaan *flexion* di bawah *center of mass* sejauh  $0^\circ$ - $15^\circ$ . Pada posisi *initial contact* bagian *trunk* berputar, bahu kiri dan sisi kanan *pelvis* bergerak menjauh ke sisi depan meninggalkan lengan kiri yang berayun ke belakang. Jumlah ayunan lengan bervariasi pada setiap orang dan meningkat seiring bertambahnya kecepatan berjalan. Ketika posisi *initial contact* Murray (1967) menemukan rata-rata siku *flexion* sebesar  $8^\circ$  dan bahu *flexion* sebesar  $45^\circ$ .

### 2. *Loading Response (Foot Flat)*

Fase *loading response* terjadi pada persentase waktu sekitar 10% dari *gait cycle*. Selama fase *loading response*, kaki melakukan kontak sepenuhnya dengan

landasan dan dalam keadaan rata (*foot flat/FF*) dengan landasan (lihat kaki warna *grey*). Berat badan secara penuh dipindahkan kepada kaki kanan (*grey*), sedangkan kaki lainnya berada pada fase *pre-swing*, seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.3.



**Gambar 2.3 Gerakan kaki fase *loading response***

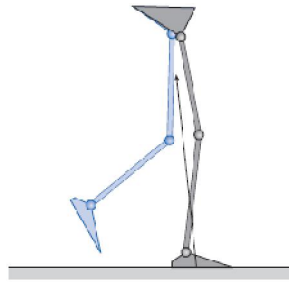
Sumber : Whittle, 2007

Pada posisi ini terjadi penyerapan guncangan saat berjalan dan stabilisasi awal dalam periode berdiri. Menggunakan *heel* sebagai tumpuan ayunan, bagian *knee* bergerak  $15^\circ$  *flexion* untuk menahan guncangan sekaligus menyerap energi untuk mengayunkan kaki. *Ankle* bergerak  $10^\circ$  *plantar flexion* untuk membatasi ayunan tumit dengan kaki depan yang melakukan kontak sepenuhnya dengan landasan.

Bagian atas tubuh selama *loading response*, *trunk* berada pada posisi terbawahnya sekitar 20 mm di bawah posisi normal. Bagian *arms* bergerak secara maksimal ke posisi depan dan belakang, sedangkan bagian *hip* memanjang akibat kontraksi otot ekstensor sejauh  $25^\circ$ , saat fase *loading response*.

### 3. *Midstance*

Fase *midstance* terjadi pada periode persentase waktu *gait cycle* pada 10-30%. Dimulai pada saat *heel* sesaat sebelum meninggalkan landasan sehingga kaki berada sejajar dengan kaki bawah bagian depan. Bersamaan pada fase ini, terjadi perpindahan berat oleh kaki pada periode *stance* (kaki kanan, warna *grey*), sedangkan kaki lainnya (kaki kiri, warna biru) berada fase *mid-swing* (lihat Gambar 2.4).



**Gambar 2.4 Gerakan kaki fase *midstance***

Sumber : Whittle, 2007

Kestabilan trunk dan anggota gerak bawah menjadi penting dalam posisi ini. Selama fase ini, *knee* mencapai puncak *fleksion* sampai pada sudut elevasi  $0^\circ$  dalam fase berdiri dan mulai untuk bergerak memanjang kembali. Pada posisi ini *trunk* berada pada titik tertinggi 20 mm di atas posisi normal. Bagian *arms* bergerak berlawanan arah gerakan *leg*. Sedangkan bagian *trunk* bergerak kembali ke posisi normal, sebagai akibatnya bagian bahu dan *pelvis* juga berada dalam posisi netral sebelum kembali berputar arah saat bergerak pada posisi berikutnya. Bagian *ankle* bergerak *dorsi flexion* pada  $5^\circ$ - $10^\circ$ .

#### 4. *Terminal Stance (Heel Off)*

Fase *terminal stance* pada saat *heel* kaki kanan (*grey*) meninggi (mulai meninggalkan landasan) dan dilanjutkan sampai dengan *heel* dari kaki biru mulai mengenai landasan, seperti diperlihatkan oleh Gambar 2.5. Fase *terminal stance* disebut juga dengan fase *heel off* karena *heel* kaki pada periode *stance* tidak mengenai landasan. Fase ini terjadi pada periode waktu *gait cycle* 30-50%, berat badan dipindahkan dan bertumpu ke bagian bawah kaki depan (*toe*).



**Gambar 2.5 Gerakan kaki pada fase *terminal stance***

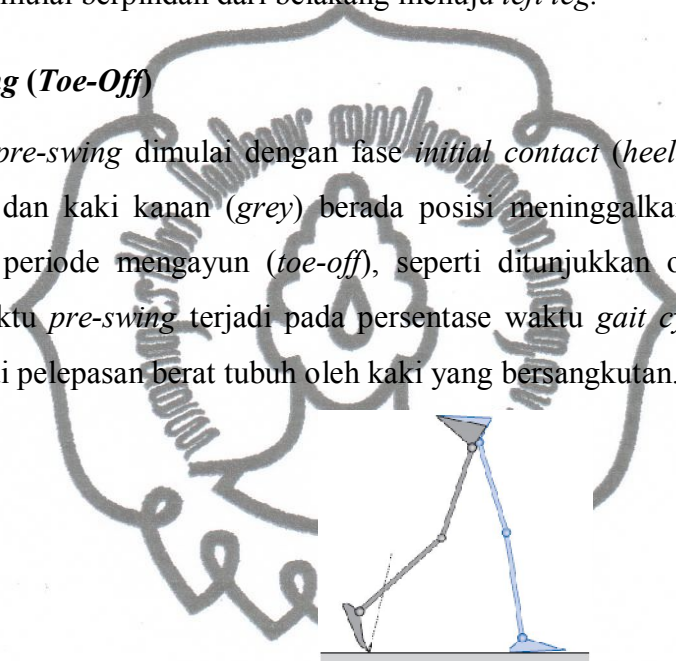
Sumber : Whittle, 2007

*commit to user*

Saat tubuh bergerak ke depan, beban tubuh berpindah dari bagian tumit ke bagian jari kaki. Saat fase ini, bagian *heel* meninggi yang diikuti kenaikan *knee flexion*  $0^{\circ}$ - $40^{\circ}$  dan *hip extension*  $20^{\circ}$ - $0^{\circ}$ . Kenaikan bagian *heel* menyebabkan *trunk* bergerak turun dari posisi tertingginya. *Ankle* dalam posisi peralihan dari *dorsi flexion* sebesar  $10^{\circ}$  lalu bergerak  $20^{\circ}$  *plantar flexion*. Posisi tubuh mulai jatuh ke depan dengan salah satu kaki berayun untuk mencapai tanah. Dalam posisi ini berat tubuh mulai berpindah dari belakang menuju *left leg*.

### 5. Pre-Swing (Toe-Off)

Fase *pre-swing* dimulai dengan fase *initial contact* (*heel strike*) oleh kaki kiri (biru), dan kaki kanan (*grey*) berada posisi meninggalkan landasan untuk melakukan periode mengayun (*toe-off*), seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.6. Periode waktu *pre-swing* terjadi pada persentase waktu *gait cycle* 50-62%, dan mulai terjadi pelepasan berat tubuh oleh kaki yang bersangkutan.



**Gambar 2.6 Gerakan kaki pada fase *pre-swing***

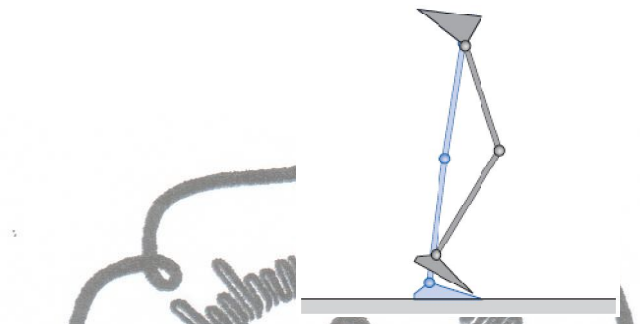
Sumber : Whittle, 2007

Posisi ini menyebabkan terjadi rotasi yang extreme pada tubuh bagian atas, dimana bagian *trunk*, *arms*, dan *trunk* berotasi dari titik normalnya. Dalam posisi ini, bagian *hip* tetap dalam kondisi *flexion* sedangkan *knee flexion* bergerak menurun dari sudut elevasi sebesar  $40^{\circ}$  hingga  $0^{\circ}$ . *Ankle* berada dalam puncak *plantar flexion* dimana membentuk sudut sebesar  $25^{\circ}$ .

### 6. Initial Swing (Acceleration)

Fase *swing* merupakan fase dimana kaki tidak berada di landasan atau pada posisi berayun. Fase *swing* terdiri dari tiga fase, yaitu: *Initial swing*, *mid-swing*, dan *terminal swing*. Fase keenam merupakan fase *initial swing*, dimana kaki

mulai melakukan ayunan, persentase *initial swing* adalah 62-75% dari periode waktu *gait cycle*. Fase *initial swing* dimulai pada saat telapak kaki kanan (*grey*) mulai diangkat dari posisi landasan (*toe off*), sedangkan kaki kiri (*biru*) berada pada posisi *midstance*, seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.7.



**Gambar 2.7 Gerakan kaki fase pada *initial swing***

Sumber : Whittle, 2007

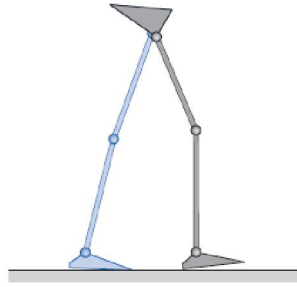
Saat kaki diangkat, anggota badan naik dengan adanya  $15^\circ$  *hip flexion* and peningkatan *knee flexion* sampai  $60^\circ$ . Bagian *ankle* secara parsial berada dalam posisi  $10^\circ$  *plantar flexion*. Pada posisi ini, bagian atas tubuh bergerak menyesuaikan keseimbangan gerakan kaki. Saat kaki dalam posisi berdampringan, *trunk* berada dalam posisi tertinggi dan secara maksimal memindahkan posisi kaki untuk bergerak naik saat posisi kaki yang lain dalam keadaan berdiri. Bagian *arms* berada pada posisi yang sama, tangan yang satu bergerak maju dan yang lainnya bergerak mundur.

## 7. Mid-Swing

Gambar 2.8 menunjukkan Fase *mid-swing* yang dimulai pada akhir *initial swing* dan dilanjutkan sampai kaki kanan (*grey*) mengayun maju berada di depan anggota badan sebelum mengenai landasan. Fase *mid-swing* terjadi pada periode waktu *gait cycle* 75-85%, dimana kaki kiri (*biru*) berada pada fase *terminal stance*. Pada fase ini juga terjadi gerak perpanjangan tungkai kaki dalam persiapan melakukan fase *heel strike*.

*commit to user*





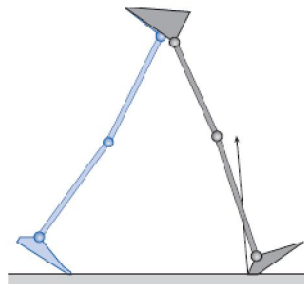
**Gambar 2.8 Gerakan kaki pada fase mid-swing**

Sumber : Whittle, 2007

Pada posisi ini bagian *trunk* kehilangan posisi tertingginya dan bergerak dari titik maksimalnya untuk menahan kaki kiri kembali ke posisi *midline*. Hal ini juga disebabkan oleh terjadinya hip flexion lanjutan sebesar  $25^\circ$  dari fase sebelumnya yang mendukung anggota tubuh ke arah anterior dari titik berat tubuh. Bagian *knee* mengikuti respon gravitasi, dimana *ankle* pada posisi *dorsi flexion* untuk menjadi netral ( $0^\circ$ ). Lengan kanan berada di posisi depan dan bagian kanan dari *pelvis* pada posisi di sisi depan kiri.

#### 8. Terminal Swing (Deceleration)

Fase *terminal swing* merupakan akhir dari *gait cycle*, terjadi pada periode waktu *gait cycle* 85-100%. Fase *terminal swing* dimulai pada saat akhir dari fase *mid-swing*, dimana tungkai kaki mengalami perpanjangan maksimum dan berhenti pada saat *heel* telapak kaki kanan (*grey*) mulai mengenai landasan. Pada periode ini, posisi kaki kanan (*grey*) berada kembali berada depan anggota badan, seperti pada posisi awal *gait cycle*, seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.9.



**Gambar 2.9 Gerakan kaki pada fase terminal swing**

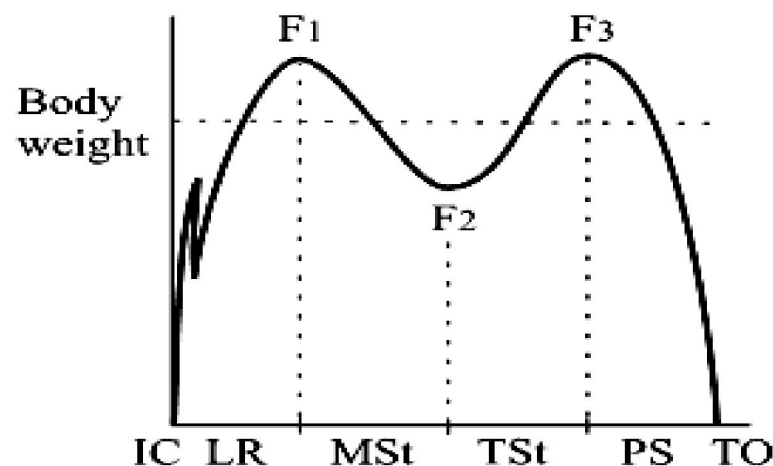
Sumber : Whittle, 2007

*commit to user*

Gerakan ke depan anggota badan disempurnakan oleh adanya ekstensi lutut. *Hip* bertahan dalam posisi  $25^\circ$  *flexion*, *hip* berada dalam posisi netral begitu pula bagian *ankle dorsi flexion* menuju posisi netral ( $0^\circ$ ). Dengan gerakan demikian anggota tubuh siap untuk kembali dalam posisi berdiri.

## 2.2 GROUND REACTION FORCE SAAT BERJALAN

Gaya reaksi tanah pada fase *stance* dengan kecepatan berjalan 82m/min mempunyai pola seperti pada gambar 2.10. Grafik tersebut mempunyai dua puncak yang dipisahkan oleh lembah. Kecepatan berjalan 82 m/min menghasilkan gaya pada grafik puncak sebesar 110% dari berat tubuh, sedangkan gaya pada lembah sekitar 80% berat tubuh.



**Gambar 2.10 GRF selama fase berjalan**

Sumber: Perry, 1992

Pada grafik tersebut,  $F_1$  terjadi pada awal *mid stance* sebagai respon untuk penerimaan berat tubuh selama *loading respon*. Saat  $F_1$ , pusat massa tubuh turun secara cepat yang menimbulkan percepatan pada berat tubuh. Pada akhir *mid stance*, pusat massa tubuh beralih ke satu kaki sedangkan kaki yang lain dalam posisi mengayun. Hal inilah yang menyebabkan tekanan ke tanah oleh kaki penopang berkurang sehingga terbentuk  $F_2$ . Puncak kedua ( $F_3$ ), pada akhir *terminal stance*, mengindikasikan pusat massa tubuh mengalami percepatan ke bawah.

*commit to user*

Kejadian tersebut dapat dijelaskan secara matematis dengan dua persamaan di bawah ini.

$$F - W = m \cdot a \quad \dots\dots\dots 2.1$$

$$W = m \cdot g \quad \dots\dots\dots 2.2$$

$F$  merupakan gaya reaksi tanah,  $W$  merupakan berat tubuh,  $m$  merupakan massa dari subjek,  $g$  merupakan konstanta gravitasi, dan  $a$  merupakan percepatan vertikal. Jika kedua persamaan tersebut digabungkan akan didapat persamaan

$$F = m (g + a) \quad \dots\dots\dots 2.3$$

Karena  $m$  dan  $g$  bernilai tetap, gaya reaksi tanah berubah sesuai perubahan percepatan vertical. Ketika  $a = 0$ , Gaya reaksi tanah sama dengan berat tubuh. Jika  $a > 0$ , gaya reaksi tanah akan meningkat, sebaliknya jika  $a < 0$ , gaya reaksi tanah menjadi lebih kecil dari berat tubuh.

### 2.3 FORCE PLATE/ FORCE PLATFORM

Pengukuran *ground reaction force* (GRF) digunakan *force platform* yang diletakkan di tengah lintasan untuk berjalan. Perangkat ini memungkinkan pengukuran total vektor gaya dari berbagai kegiatan selama pergerakan kontak antara tubuh (kaki) dan permukaan (lantai) tempat perangkat ini diposisikan. Perangkat ini juga memberikan nilai-nilai koordinat planar  $x$  dan  $y$  dari titik pusat tekanan (*center of pressure*) sebagai output (Medved, 2001).

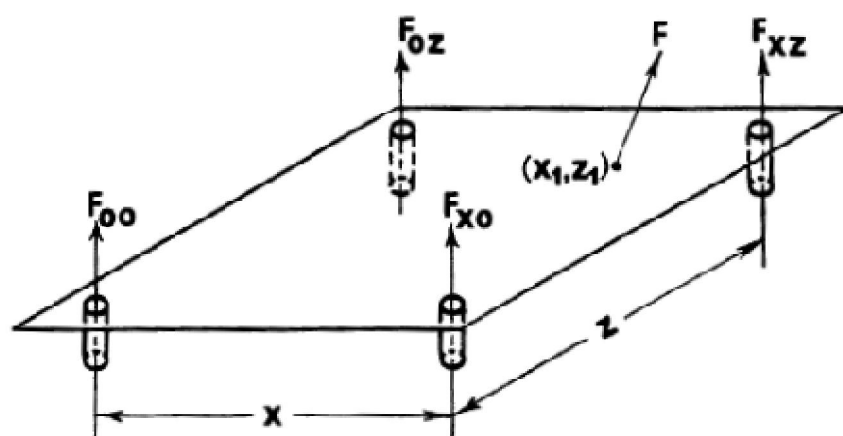


**Gambar 2.11 Force platform**

Sumber: [www.amti.biz](http://www.amti.biz)

Pengukuran ini juga dapat ditampilkan sebagai kurva waktu, sehingga perangkat ini umumnya berlaku dalam studi pergerakan, kesehatan atau patologis. Selain digunakan di fenomena dinamis seperti gaya berjalan dan berlari, *force platform* dapat digunakan untuk pengukuran dari perkiraan postur tubuh statis. Karena dukungan tubuh melalui kaki hampir tetap, pengukuran sinyal diperoleh dari gerakan pusat massa tubuh.

Teknologi yang diterapkan pada *Force platform* yang sekarang digunakan dalam analisis biomekanik dapat dibedakan dalam dua kategori yaitu *piezoelectric* dan *strain gage*. *Piezoelectric force platform* pertama kali dikenalkan oleh Kisler pada tahun 1969. Alat ini menggunakan kristal kuarsa sebagai transduser untuk menghasilkan muatan listrik pada saat ditekan. *Piezoelectric force platform* menunjukkan frekuensi natural yang tinggi, *noise* sangat rendah, dan perangkat elektronik yang tepat untuk mendapatkan hasil yang dapat diandalkan. Namun, *force plate* jenis ini sangat mahal di pasaran. *Strain gage force platform* menggunakan *strain gage* sebagai transduser yang melekat pada struktur baja atau aluminium (*load cell*). Pada saat tertekan, regangan (*strain*) pada *load cell* akan berubah secara linear sesuai intensitas dari gaya yang terjadi. *Strain gage platform* dapat mengukur beban statik dan dinamik. AMTI, pada tahun 1976 mengembangkan *force platform* jenis ini untuk pertama kalinya.



**Gambar 2.12 Force platform dengan load cell di setiap sudutnya**

Sumber: Winter, 1990

*Force platform* tersusun dari plat yang dilengkapi dengan empat transduser (*load cell*) di setiap sudutnya seperti yang ditampilkan pada gambar

2.12. Lokasi titik tekanan (*center of pressure*) ditentukan oleh gaya vertikal yang diukur oleh setiap transduser (*load cell*) tersebut. Jika gaya vertical pada masing-masing *load cell* adalah  $F_{00}$ ,  $F_{x0}$ ,  $F_{0z}$ , dan  $F_{xz}$ , total gaya vertikalnya adalah  $F_y = F_{00} + F_{x0} + F_{0z} + F_{xz}$ . Jika, keempat gaya yang terukur oleh *load cell* tersebut adalah sama, maka letak titik tekanan (*center of pressure*) berada pada titik tengah dari *force plate* yaitu pada  $(X/2, Z/2)$ . Secara umum, letak *center of pressure* (COP) ditentukan dengan persamaan 2.13.

$$x = \frac{X}{2} \left[ 1 + \frac{(F_{x0} + F_{xz}) - (F_{00} + F_{0z})}{F_y} \right] \dots\dots\dots 2.4$$

$$z = \frac{Z}{2} \left[ 1 + \frac{(F_{0z} + F_{xz}) - (F_{00} + F_{x0})}{F_y} \right]$$

## 2.4 LOAD CELL

*Load cell* merupakan transduser yang dikelompokkan sebagai transduser gaya (*force transducer*). Alat ini dapat mengubah gaya atau beban atau berat menjadi sinyal listrik. Bagian utama dari *load cell* adalah *strain gage*. *Strain gage* adalah alat yang memiliki tahanan yang dapat berubah apabila alat mengalami penekanan (Koestoer, 2005).



**Gambar 2.13 Load cell**

Sumber: <http://hiweigh.en.made-in-china.com>

*Gage-gage* tersebut terbuat dari lembaran logam yang sangat tipis yang mengalami pengerjaan panas dan terikat secara kimia pada sebuah lapisan dielektrik yang tipis. Kemudian *gage patches* tersebut dipasang atau diletakkan pada elemen regang (*strain element*) dengan alat perekat yang telah diformulasikan secara khusus. Posisi yang sesuai dari *gage*, prosedur pemasangan

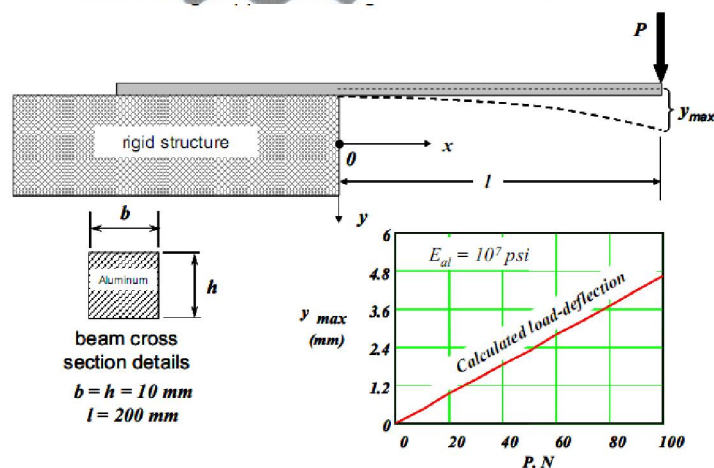


(*mounting procedure*), dan material yang digunakan semuanya memiliki efek yang diukur pada unjuk kerja keseluruhan dari *load cell* tersebut.

Setiap *gage patch* terdiri dari satu atau lebih kabel, baik yang terlekat pada permukaan batang penahan (*beam*), cincin (*ring*), maupun *column* (elemen regang atau *strain element*) di dalam *load cell*. Pada saat permukaan *gage* melekat mulai meregang, kawat pada *strain gage* memanjang atau memendek sehingga muncul perubahan nilai tahanan yang sesuai atau proporsional dengan beban yang timbul atau beban yang diberikan. Satu atau lebih *strain gages* digunakan dalam pembuatan *load cell*.

*Strain gage* dalam jumlah banyak disambungkan untuk menciptakan keempat kaki dari konfigurasi jembatan *wheatstone*. Pada saat voltase *input* dikenakan pada jembatan, terjadi tegangan *output* yang proporsional atau sesuai dengan beban yang ditimbulkan atau diberikan. *Output* ini dapat diperkuat dan diproses dengan menggunakan peralatan elektrik konvensional.

Tipe *load cell* seperti pada gambar 2.13 merupakan *load cell* yang salah satu ujungnya tetap (*fixed*). Ketika terjadi tekanan (*P*) pada sisi satunya maka akan penampang *load cell* akan mengalami defleksi, yang besarnya sesuai persamaan berikut:



**Gambar 2.14 Defleksi load cell**

Sumber: Mechefske, (No date)

$$Y_{max} = \frac{P.l^3}{E.I} \quad \dots\dots\dots 2.5$$

$$I = \frac{b.h^3}{12} \quad \dots\dots\dots 2.6$$

Keterangan:

$Y_{max}$  = Defleksi maksimum

P = Tekanan

b = lebar

h = tinggi

$l$  = Panjang load cell yang mengambang

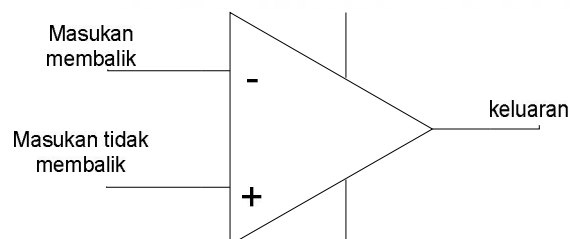
E = Modulus elastisitas bahan *load cell*

I = Momen inersia bidang kontak

## 2.5 PENGUAT (AMPLIFIER)

Output dari *load cell* menghasilkan tegangan yang sangat kecil. Pada umumnya apabila *load cell* diberi tegangan sebesar 10 V, maka tegangan keluarannya sekitar 100mV. Oleh karena itu, perlu suatu pengkondisian sinyal untuk meningkatkan tegangan output pembacaan oleh *load cell* tersebut. Peningkatan tegangan pada *load cell* pada umumnya digunakan amplifier.

Penguat (*operational amplifier*), adalah piranti elektronik yang mampu mengindera dan memperkuat sinyal masukan baik AC maupun DC (Koestoer R.A., 2005). Simbol penguat standard ditampilkan pada gambar 2.15.



**Gambar 2.15 Lambang penguat dasar**

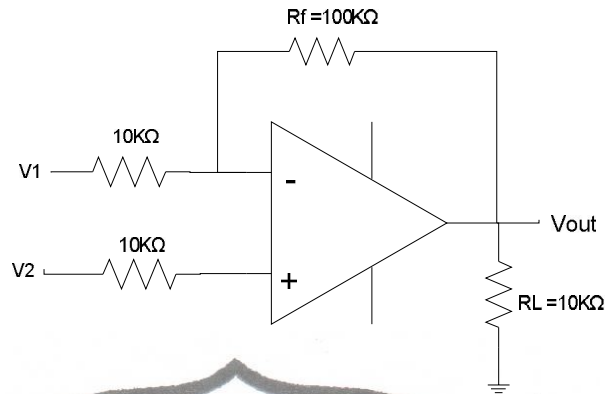
Sumber: Koestoer, 2005

Rangkaian penguat dalam aplikasi instrumentasi, sebagai berikut:

### 1. Pembandingan tegangan.

Perbandingan tegangan pada prinsipnya membandingkan tegangan sebuah masukan (*input*) dengan masukan lainnya.

*commit to user*



**Gambar 2.16 Pembanding tegangan**

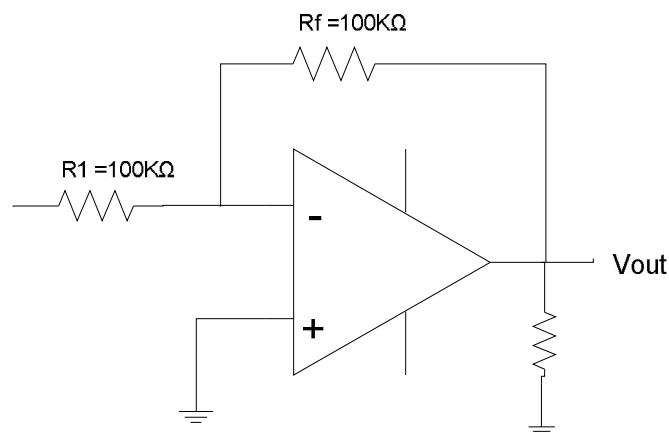
Sumber: Koestoer, 2005

Pada gambar 2.16 memperlihatkan skema pembanding tegangan sederhana. Dalam konfigurasi tersebut, modus lup terbuka. Adanya sedikit tegangan akan mengakibatkan tegangan diantara kedua masukan mengayunkan penguat ke arah saturasi, tergantung polaritas sinyal. Tegangan keluaran dari rangkaian pembanding tegangan dirumuskan dengan persamaan 2.7.

$$V_{out} = V_{sat} \times (V_2 - V_1) \quad \dots\dots\dots 2.7$$

## 2. Penguat membalik.

Sebuah penguat menerima tegangan kecil pada masukannya dan menghasilkan arus yang lebih besar pada keluarannya. Penguat memiliki penguatan (*gain*) yang relatif linier. Keluarannya dikendalikan sebagai fungsi masukan, rangkaian penguat ini dilihat pada gambar 2.17.



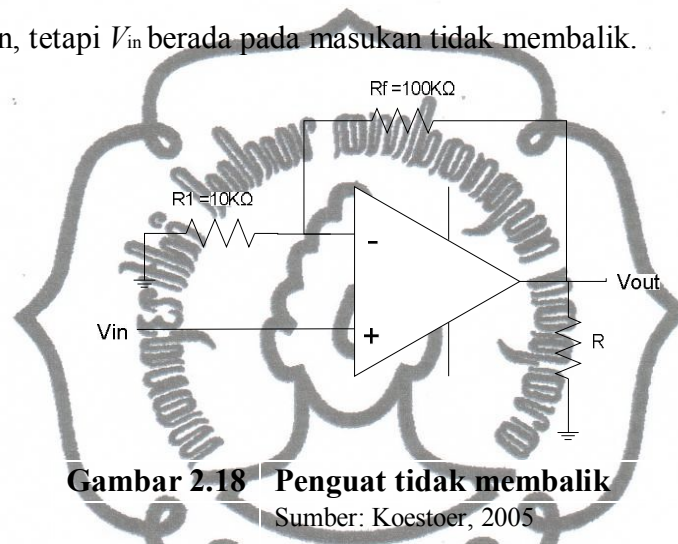
**Gambar 2.17 Penguat membalik**

Sumber: Koestoer, 2005

$$\begin{aligned} \text{Penguatan } A_v &= -\frac{R_f}{R_1} \\ &= A_v \times V_{in} \quad \dots\dots\dots 2.8 \end{aligned}$$

### 3. Penguat tidak membalik.

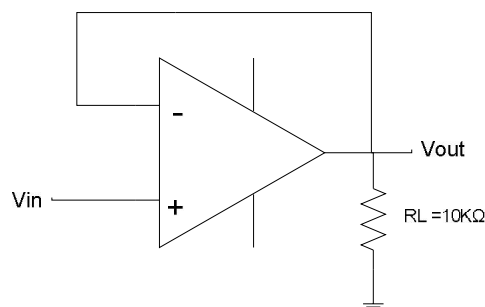
Penguat tak membalik dapat dilihat pada gambar 2.18. Dalam sistem ini umpan balik yang dipakai untuk mengatur penguatan tetap diberikan pada masukan, tetapi  $V_{in}$  berada pada masukan tidak membalik.



**Gambar 2.18 Penguat tidak membalik**  
Sumber: Koestoer, 2005

### 4. Pengikut tegangan.

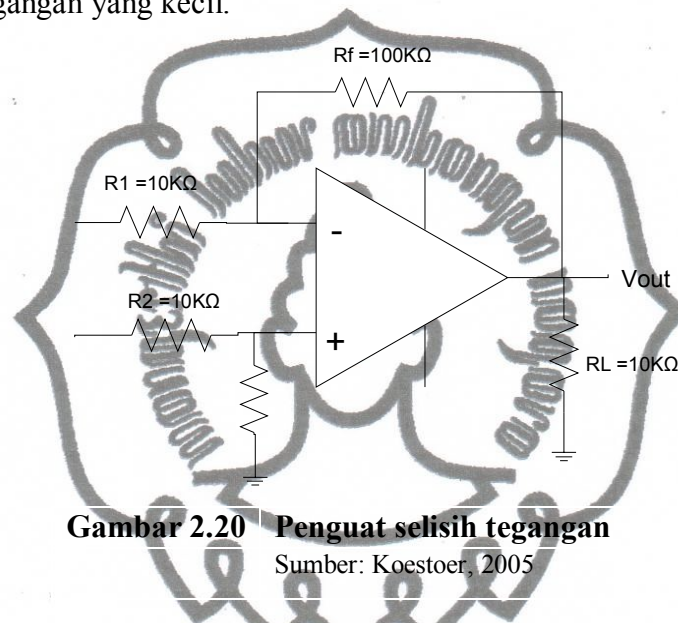
Pengikut tegangan didefinisikan sebagai rangkaian dengan penguatan satu dengan keluaran mengikuti masukan, seperti yang terlibat pada gambar 2.19. Pengikut tegangan tidak membalik, keluaran terhubung langsung dengan masukan membalik. Resistor umpan balik adalah nol. Tegangan masukan membalik selalu sama dengan tegangan masukan tak membalik. Jadi selisih diantara kedua masukan adalah nol.



**Gambar 2.19 Penguat pengikut tegangan**  
Sumber: Koestoer, 2005

## 5. Penguat selisih tegangan.

Penguat selisih tegangan hampir sama dengan penguat pembanding. Kedua masukan dipakai untuk merasakan beda tegangan diantara keduanya, tetapi rangkaian menggunakan *modus lup* tertutup sehingga keluarannya dapat dikendalikan, seperti terlihat pada gambar 2.20. Penjelasaannya ditekankan pada aspek selisih secara aljabar, tetapi sistem ini dapat merasakan adanya beda tegangan yang kecil.



**Gambar 2.20 Penguat selisih tegangan**  
Sumber: Koestoer, 2005

## 2.6 KONVERTER ANALOG DIGITAL

Sinyal yang dihasilkan penguat adalah sinyal analog, sedangkan komputer bekerja dengan sinyal digital. Untuk itu diperlukan sebuah piranti pengkonversi sinyal dari analog ke digital. Konverter analog ke digital (ADC) yaitu suatu alat yang mampu untuk mengubah sinyal atau tegangan analog menjadi informasi digital yang nantinya diproses lebih lanjut dengan komputer. Berbagai variasi konfigurasi dari ADC dinyatakan dalam bentuk *chip*. Tiap ADC memiliki karakteristik tersendiri. Semakin cepat pengubah pada ADC maka harganya semakin mahal.

Data digital yang dihasilkan ADC hanyalah merupakan pendekatan proporsional terhadap masukan analog. Tidak mungkin melakukan konversi secara sempurna berkaitan dengan kenyataan bahwa informasi digital berubah dalam *step-step*, sedangkan analog berubahnya secara kontinu. Misalnya ADC



dengan resolusi 8 *bit* menghasilkan bilangan 0 sampai dengan 255 (256 bilangan dan 255 step). Dengan demikian, tidak mungkin menyajikan semua kemungkinan nilai analog. Jika resolusinya menjadi 20 *bit*, maka akan terdapat 1.048.575 *step*, berarti semakin banyak kemungkinan nilai-nilai analog yang dapat disajikan.

### 2.6.1 Bilangan Biner, Hexa, dan Desimal

Sistem bilangan desimal menggunakan 10 macam simbol yaitu 0,1,2,3,4,5,6,7,8,dan 9. Sistem ini menggunakan basis 10. Bentuk nilai ini dapat berupa integer desimal atau pecahan.

Misalnya, 8598 dapat diartikan :

$$\begin{array}{rcl} 8 \times 10^3 & = & 8000 \\ 5 \times 10^2 & = & 500 \\ 9 \times 10^1 & = & 90 \\ 8 \times 10^0 & = & 8 \\ \hline & & 8598 \end{array}$$

Sistem bilangan binary menggunakan 2 macam symbol bilangan berbasis 2 digit angka, yaitu 0 dan 1.

Contoh bilangan 1001 dapat diartikan :

$$\begin{array}{l} 1 \ 0 \ 0 \ 1 \\ \begin{array}{|l} \hline \longrightarrow \\ \longrightarrow \\ \longrightarrow \\ \longrightarrow \end{array} \end{array} \quad \begin{array}{l} 1 \times 2^0 = 1 \\ 0 \times 2^1 = 0 \\ 0 \times 2^2 = 0 \\ 1 \times 2^3 = 8 \\ \hline 10_{(10)} \end{array}$$

Sistem bilangan Hexa menggunakan 16 macam symbol bilangan berbasis 16 digit angka, yaitu 0 , 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E dan F. Dimana A = 10, B = 11, C= 12, D = 13 , E = 14 dan F = 15.

Contoh :

$$\begin{array}{l} C7_{(16)} = \dots\dots (10) \\ \begin{array}{|l} \hline \longrightarrow \\ \longrightarrow \end{array} \end{array} \quad \begin{array}{l} 7 \times 16^0 = 7 \\ C \times 16^1 = 192 \\ \hline 199_{(10)} \end{array}$$

### 2.6.2 Komparator (Pembanding)

Komparator mempunyai tugas membandingkan dua tegangan pada kedua terminal inputnya. Bergantung pada tegangan mana yang lebih besar, outputnya akan berupa sinyal digital 1 (*high*) atau 0 (*low*). Komparator ini digunakan secara luas untuk sinyal alarm ke komputer atau sistem pemroses digital. Elemen ini merupakan satu kesatuan dengan konverter analog ke digital.

Sebuah komparator dapat tersusun dari sebuah *op-amp* yang memberikan output terpotong untuk menghasilkan level yang diinginkan untuk kondisi logika (+5 dan 0 untuk TTL 1 dan 0). Komparator komersil didesain untuk memiliki level logika yang diperlukan pada bagian outputnya.

### 2.6.3 Teknik Pengubahan Analog Ke Digital

Beberapa teknik pengubahan telah diciptakan untuk menyelenggarakan pengubahan analog ke digital. Masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan. Parameter utama yang dipakai untuk menilai keunggulan tiap teknik adalah kecepatan, harga dan ketepatan. Salah satu teknik ini mengubah analog ke digital adalah pendekatan beruntun. Teknik pendekatan beruntun mungkin merupakan teknik yang paling sering dipakai pada mikroprosesor, karena teknik ini mempunyai kecepatan tinggi, daya pisah tinggi dan harganya rendah.

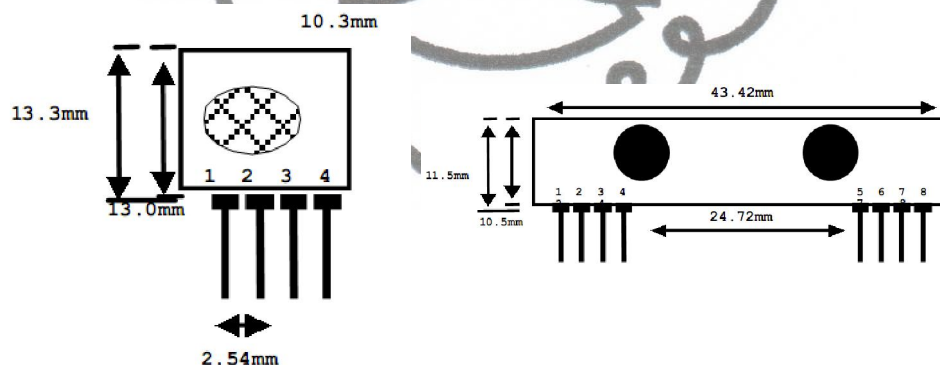
Prinsipnya yaitu membangkitkan suatu taksiran awal mengenai harga masukan, mengubahnya menjadi analog, dan kemudian membandingkannya dengan masukan sesungguhnya. Tergantung dari hasil perbandingan, maka taksiran awal ini bisa diperbesar atau diperkecil. Misalnya dengan anggapan pendekatan 8 *bit*, taksiran awal dapat “10000000”. Bila masukan sesungguhnya lebih besar dari harga analog yang ekuivalen dengan “10000000” maka *bit* berikutnya (yang kedua dari kiri) dibuat menjadi 1. Jadi taksiran berikutnya adalah “11000000”. jika, ini masih terlalu kecil, taksiran selanjutnya adalah “11100000”.

Jika masukan sesungguhnya kini lebih kecil dari pendekatan sekarang maka *bit* yang paling akhir dipasang menjadi “1” dibuat jadi “0” dan dicoba *bit* selanjutnya. Taksiran berikutnya menjadi “11010000” dan demikian seterusnya.

## 2.7 AMPLITUDE SHIFT KEYING (ASK)

ASK merupakan sebuah sistem komunikasi tanpa kabel (*wireless*) yang beroperasi dalam pita frekuensi tertentu. ASK merupakan teknik pembangkitan gelombang AM yang dilakukan dengan membangkitkan sinyal AM secara langsung tanpa harus membentuk sinyal *base band* yang menggambarkan teknik modulasi digital. Jadi teknik tersebut merupakan pembangkitan gelombang AM untuk mentransmisi informasi digital yang selanjutnya dikenal sebagai bentuk pembangkitan ASK atau lebih jauh dikenal sebagai AM digital. ASK terdiri dari ASK pengirim (*transmitter*) dan ASK penerima (*receiver*).

*Transmitter* adalah bagian dari sistem komunikasi *wireless* yang berfungsi untuk mengirimkan data ke tempat lain berupa gelombang radio. Prinsip kerja dari *transmitter* ini adalah adanya induksi medan magnetik dari sumber potensial yang menyebabkan arus dan menginduksi rangkaian lainnya. *Receiver* merupakan bagian yang berfungsi untuk menerima sinyal atau data yang dikirimkan oleh *transmitter*.



**Gambar 2.21 Pemancar (kiri) dan penerima (kanan) pada modul RF ASK**

Sumber: datasheet TLP434A dan RLP434A

Gambar 2.21 merupakan modul RF (radio frekuensi) yang menggunakan TLP434 sebagai pemancar dan RLP434 sebagai penerima. Modul RF buatan LAIPAC ini sering digunakan sebagai alat untuk komunikasi data secara *wireless* menggunakan media gelombang radio. Biasanya kedua modul ini dihubungkan dengan mikrokontroler atau peralatan digital yang lainnya. Jangkauan komunikasi maksimum dari pasangan modul RF ini adalah 100 meter tanpa halangan dan 30

meter di dalam gedung. Ukuran ini dapat dipengaruhi oleh faktor antena, kebisingan, dan tegangan kerja dari pemancar.

## 2.8 MIKROKONTROLER

Pada tahun 1970 *mikroposeor (computer on a chip)* intel 4004 pertama diproduksi secara masal, pertumbuhannya sangat cepat. Pengembangan mikroprosesor dengan menggunakan teknik fabrikasi yang sama dan konsep pemrograman yang sama melahirkan mikrokontroler. Mikrokontroler tidak dikenal secara luas karena ditujukan untuk komunitas teknik. Mikroprosesor adalah cpu komputer, untuk dapat digunakan, masih diperlukan:

1. *Memory* (RAM, ROM) dan juga *decoder memory*.
2. I/O dan *decoder I/O*.
3. Piranti khusus (Interupsi, *timer*, *counter*).
4. *Clock generator*.

Mikrokontroler didesain sebagai *true computer on a chip*, jadi mikrokontroler mempunyai piranti tambahan untuk membangun suatu sistem komputer digital. Mikrokontroler dirancang dengan dengan intruksi yang dapat mengakses piranti terprogram dan dioptimalkan untuk instruksi *bit* dan *byte*, sementara komputer PC mempunyai desain dengan instruksi untuk mengakses data *multy byte*.

Mikrokontroler, mempunyai sistem pewaktuan CPU, 12 siklus *clock*. Artinya setiap 12 siklus yang dihasilkan oleh *ceramic resonator* menghasilkan satu siklus mesin. Nilai ini yang akan menjadi acuan waktu operasi CPU. Perbedaan mikrokontroler AT89S51 dengan C51(seri sebelumnya) adalah cara pengisian program (*flash programming*). Pada mikrokontroler AT89S51 terdapat fasilitas ISP (*In System Programming*), artinya mikrokontroler ini mampu diprogram meskipun dalam kondisi bekerja. Letak perbedaan pada *hardware* adalah adanya MOSI, MOSI, dan SCK, pin ini berguna saat *flash programming*.





berimpedansi tinggi. Port 0 dapat dikonfirmasi untuk demultiplex sebagai jalur *data/address bus* selama membaca ke program eksternal dan memori data. Pada mode ini P<sub>0</sub> mempunyai *internal Pullup*. Port 0 juga menerima kode byte selama pemrograman *flash*. Dan mengeluarkan kode *byte* selama verifikasi program.

2. Port 1

Port 1 adalah 8 bit *bi-directional port I/O* dengan *internal Pullup*. Port 1 mempunyai *output* yang dapat dihubungkan dengan 4 TTL *input*. Ketika logika '1' dituliskan ke port 1, pin ini di *pull high* dengan menggunakan internal pullup dan dapat digunakan sebagai *input*. Port 1 juga menerima *address* bawah selama pemrograman *flash* dan verifikasi.

3. Port 2

Port 2 adalah 8 bit *bi directional port I/O* dengan *pullup*. Port 2 *output buffer* dapat melewati empat TTL *input*. Ketika logika satu dituliskan ke port 2, maka mereka di *pull high* dengan internal *Pullup* dan dapat digunakan sebagai *input*.

4. Port 3

Port 2 adalah 8 bit *bi directional port I/O* dengan *Pullup*. *Output buffer* dari Port 3 dapat dilewati empat *input TTL*. Ketika logika satu dituliskan ke port 3, maka mereka akan di *pull high* dengan *internal pullup* dan dapat digunakan sebagai *input*. Port 3 juga mempunyai berbagai macam fungsi/fasilitas. Port 3 juga menerima beberapa sinyal kontrol untuk pemrograman *Flash* dan verifikasi.

5. RST

Input reset. Logika *high* pada pin ini akan mereset siklus mesin (IC). Pulsa *output address latch enable* digunakan untuk *latching byte* bawah dari *address* selama mengakses ke eksternal memory. Pin ini juga merupakan input pulsa program selama pemrograman *flash*. Jika dikehendaki, operasi ALE dapat didisable dengan memberikan setting bit 0 dari SFR pada lokasi 8EH. Dengan *Bit Set*, ALE *disable*, tidak akan mempengaruhi jika mikrokontroler pada mode eksekusi eksternal.

## 6. PSEN

Program *store enable* merupakan sinyal yang digunakan untuk membaca program memory eksternal. Ketika 8951 mengeksekusi kode dari program memory eksternal, PSEN diaktifkan dua kali setiap siklus mesin.

## 7. EA/VPP

*Eksternal acces enable*, EZ harus diposisikan ke GND untuk mengaktifkan divais untuk mengumpankan kode dari program memory yang dimulai pada lokasi 0000h sampai FFFFh. EA harus diposisikan ke VCC untuk eksekusi program internal. Pin ini juga menerima tegangan pemrograman 12 volt (Vpp) selama pemrograman flash.

## 8. XTAL1

*Input* untuk *oscillator inverting amplifier* dan input untuk *internal clock* untuk pengoperasian rangkaian.

## 9. XTAL2

*Output* dari *inverting oscillator amplifier*.

## 2.9 PENELITIAN SEBELUMNYA

Carr, Chawiche, Ensor, di tahun 2006 merancang *force platform* untuk pengembangan penelitian di laboratorium gait analysis University of Connecticut. Perancangan digunakan empat *load cell* yang diposisikan *orthogonal* menumpu plat atas. *Ground reaction force* untuk objek yang berjalan dapat dihitung dari pembacaan keempat load cell.

Rainone, Gardner, dan Frost, di tahun 2008 merancang dan membuat *force platform* yang dapat mengukur *ground reaction force*. Perancangan *force platform* digunakan *strain ring* yang dipasang *strain gage* yang berfungsi sebagai *load cell* untuk mengukur gaya. Empat *strain ring* diposisikan sebagai tumpuan plat atas. Sinyal dari *strain ring* dikuatkan dan diubah ke digital dengan bantuan perangkat konversi ke digital untuk dapat ditampilkan dan disimpan pada komputer.

Naves, Pereira, Andrade, Soares, di tahun 2008 merancang dan mengembangkan *force platform* untuk mengukur vertikal *ground reaction force*

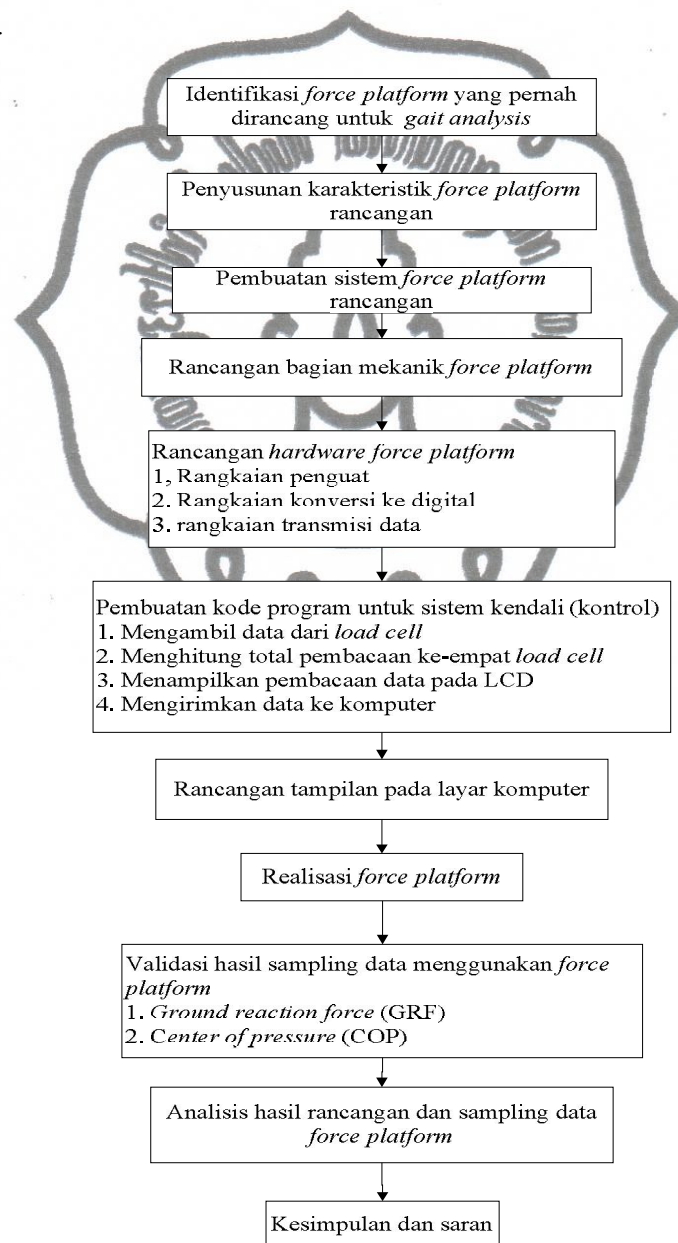
selama aktifitas melompat. *Force platform* yang dikembangkan menggunakan *load cell* sebagai sensor gaya yang diposisikan *orthogonal*. Sinyal keluaran dari *load cell* dikondisikan oleh rangkaian pengkondisian sinyal yang menggunakan AD620. Rangkaian konversi ke digital digunakan perangkat yang mempunyai resolusi 12 bit.



### BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan tentang urutan penyelesaian masalah yang dimulai dari identifikasi *force platform* yang pernah dibuat untuk *gait analysis*. Dari identifikasi yang dilakukan kemudian disusun karakteristik *force platform* yang dirancang. Untuk lebih jelas tentang penyelesaian masalah dapat dilihat pada gambar 3.1.



**Gambar 3.1 Metodologi penelitian**

### 3.1 PENGUMPULAN DATA

Pengumpulan data dilakukan dengan cara mencari informasi tentang *force platform* yang pernah dibuat untuk *gait analysis*. Informasi yang didapat kemudian dijadikan bahan untuk melakukan identifikasi *force platform* yang sudah ada.

#### 3.1.1 Identifikasi Force Plate yang Pernah dibuat untuk Gait Analysis

Identifikasi dilakukan dengan tujuan mempelajari konstruksi, sistem, dan karakteristik *force platform* yang sudah ada. Identifikasi juga dapat membantu dalam mengetahui perangkat yang dibutuhkan dalam sistem pembacaan *force platform* sampai data disimpan dalam *database* komputer.

#### 3.1.2 Penyusunan Karakteristik Rancangan Force Platform

Tahap selanjutnya setelah identifikasi yaitu menyusun karakteristik yang diharapkan untuk rancangan *force platform*. Karakteristik tersebut kemudian diterjemahkan menjadi cara yang dilakukan untuk dapat mendapatkan karakteristik tersebut.

### 3.2 PERANCANGAN FORCE PLATFORM

Dari karakteristik yang diharapkan tadi, kemudian dibuat rancangan sistem *force platform* yang terdiri dari bagian mekanik *force platform*, bagian elektronik, sistem kendali, dan tampilan pada layar monitor.

#### 3.2.1 Bagian Mekanik Force Platform

Bagian mekanik dari *force plate* terdiri dari *load cell* sebagai sensor, rangka, dan plat atas untuk penekan *load cell*. Desain untuk bagian mekanik dibuat dalam gambar 3d sehingga jelas untuk menampilkan bentuk dan konstruksi *force platform* rancangan.

#### 3.2.2 Bagian Elektronik (hardware)

Bagian elektronik terdiri dari rangkaian pengkondisian sinyal (rangkaiannya penguat), konversi ke digital, dan pengiriman data.

*commit to user*

### 1. Rangkaian Penguat

Rangkaian penguat dalam sistem *force platform* berfungsi sebagai penguat sinyal keluaran dari *load cell*. Sinyal keluaran dari *load cell* kecil, sehingga butuh penguatan supaya dapat terbaca oleh perangkat konversi ke digital.

### 2. Rangkaian Konversi ke Digital

Rangkaian konversi ke digital berfungsi untuk mengubah sinyal keluaran dari *load cell* menjadi data digital sehingga dapat disimpan pada *database* komputer. Komputer dapat membaca data dalam format digital, sedangkan sinyal keluaran dari *load cell* merupakan sinyal analog, oleh karena itu dibutuhkan perangkat untuk merubah sinyal analog ke digital.

### 3. Rangkaian Transmisi Data

Rangkaian transmisi data berfungsi untuk mengirimkan data *force platform* ke komputer. Rangkaian ini terdiri dari pemancar dan penerima.

#### 3.2.3 Sistem Kendali

Kode program dibuat untuk mengendalikan aktifitas dalam pengambilan data sampai data tersimpan pada komputer. Sebelum membuat program, dibuat *flowchart* sistem kendali yang dibutuhkan. Sistem kendali yang dibutuhkan pada *force platform* meliputi:

1. Mengambil data dari *load cell*
2. Menghitung total pembacaan ke-empat *load cell*
3. Menampilkan pembacaan pada LCD
4. Mengirimkan data ke komputer

#### 3.2.4 Tampilan pada layar monitor

Tampilan pada layar komputer dibuat agar memudahkan dalam pengamatan data pada saat menggunakan *force platform*.

### 3.3 REALISASI RANCANGAN

Rancangan yang dibuat kemudian direalisasikan menjadi produk nyata. Realisasi rancangan meliputi pembuatan bagian mekanik dan pembuatan bagian elektronik dari sistem *force platform*. *commit to user*



### 3.4 VALIDASI PEMBACAAN FORCE PLATFORM

Pembacaan *force platform* divalidasi linearitas terhadap perubahan beban yang diberikan dengan cara memberi beban secara bertahap menggunakan anak timbangan. Setelah pembacaan memberikan hasil yang linear, kemudian dilakukan validasi untuk hasil *sampling* data untuk pengukuran *ground reaction force* dan *center of pressure*. *Sampling data ground reaction force* dilakukan terhadap objek yang berjalan pada *force platform*, sedangkan *sampling data center of pressure* dilakukan terhadap objek yang berdiri pada *force platform*.

### 3.5 ANALISIS DAN INTERPRETASI HASIL

Hasil rancangan dan pembacaan *force platform* yang telah dibuat kemudian dianalisis untuk mengetahui kekurangan dan kelebihan yang ada pada sistem *force platform*. Analisis yang dilakukan dapat digunakan sebagai masukan dalam pengembangan *force platform* selanjutnya.

### 3.6 KESIMPULAN DAN SARAN

Tahap terakhir penelitian yaitu membuat kesimpulan yang menjawab tujuan dari penelitian berdasarkan hasil perancangan dan analisis hasil pengukuran, serta memberikan saran untuk penelitian selanjutnya.

## BAB IV

### PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

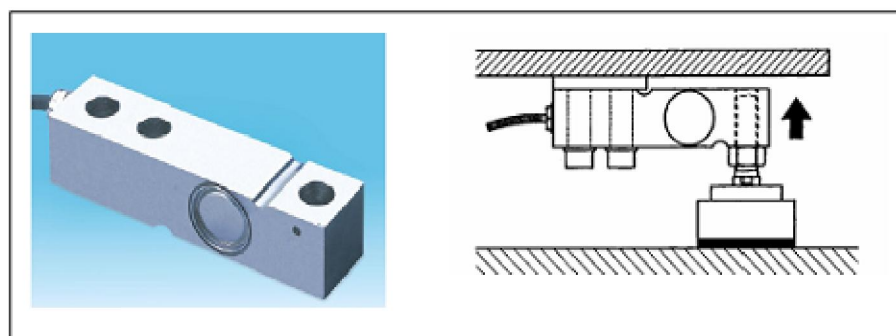
Pada bab ini dibahas mengenai karakteristik yang diperlukan dalam merancang *force platform*. Hasil identifikasi dari karakteristik rancangan dilanjutkan dengan merancang *force platform* yang meliputi konstruksi, rangkaian elektronika, bagian kendali, dan tampilan dalam pengambilan data.

#### 4.1 PENGUMPULAN DATA

Proses pengumpulan data dilakukan dengan cara mengidentifikasi *force platform* sebelumnya yang dibuat untuk laboratorium *gait analysis*. Selanjutnya, hasil dari identifikasi disusun karakteristik *force platform* yang dirancang pada penelitian ini.

##### 4.1.1 Identifikasi Force Platform Sebelumnya

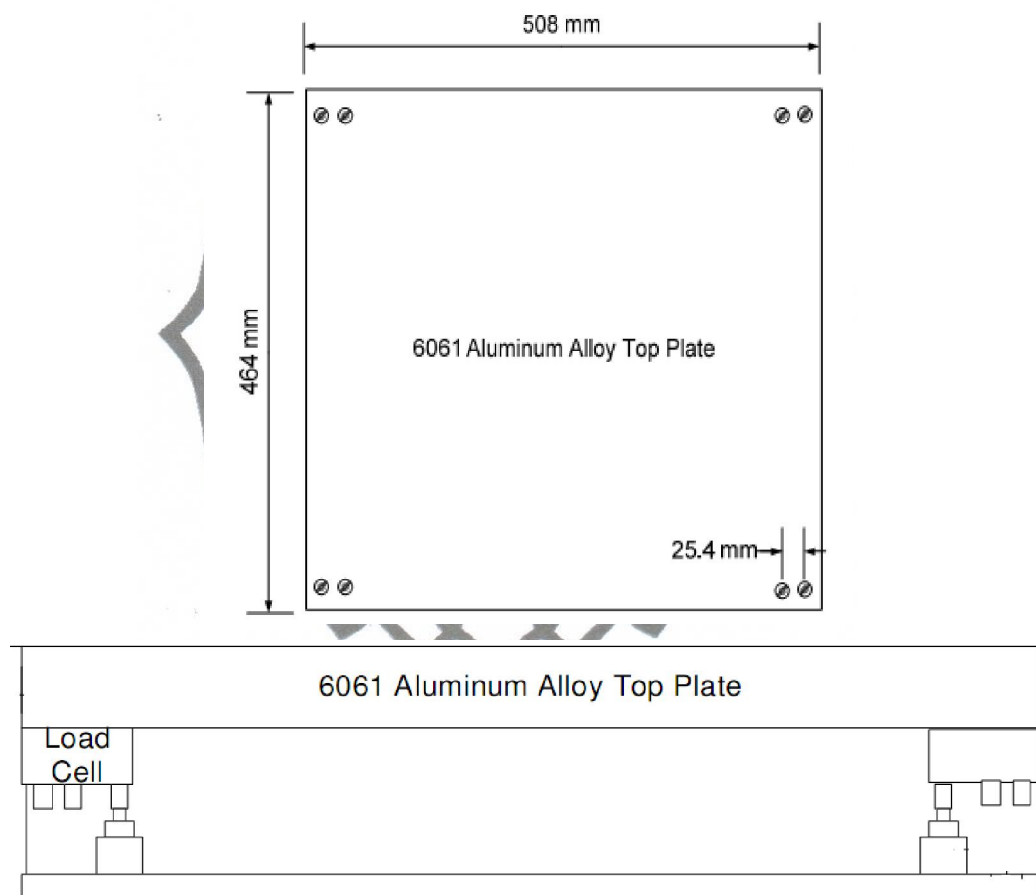
Laboratorium biomekanik di University of Connecticut merancang *force platform* pada program *human gait analysis*. *Force platform* yang dirancang tersusun terdiri dari empat *transduser* yang diapit oleh bagian plat atas dan bagian plat bawah. Perancangan *force platform*, tipe *transduser* yang digunakan University of Connecticut adalah *thames load cells* Side-Maywood 350a. Posisi *load cell* seperti ditampilkan pada gambar 4.1, jika muncul tekanan dari atas plat atas, *load cell* akan melengkung dan memunculkan perubahan gaya yang berupa resistansi dari *load cell*.



**Gambar 4.1** Thames Side-Maywood 350a load cell

<http://www.bme.uconn.edu/sendes/Fall06/Team3/>

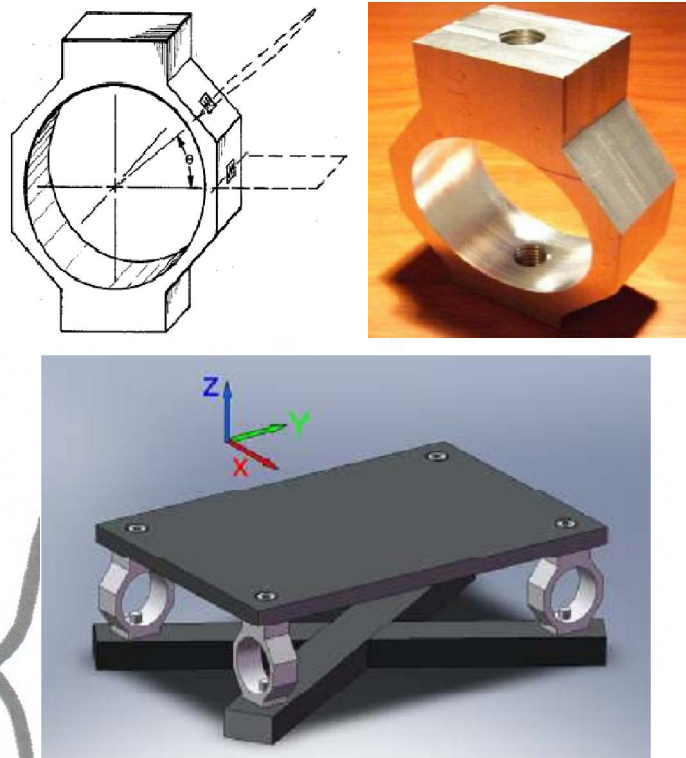
Keluaran dari *force platform* dihubungkan dengan sistem pada amplifier eksternal dan perangkat konversi ke digital, kemudian data disimpan di *database* komputer. Pengiriman data ke program komputer masih menggunakan koneksi sistem kabel. Skema *force platform* yang dikembangkan pada laboratorium biomekanik dalam mengevaluasi *human gait analysis* di University of Connecticut seperti pada gambar 4.2.



**Gambar 4.2 Skema force platform di University of Connecticut**

<http://www.bme.uconn.edu/sendes/Fall06/Team3>

Pada tahun 2008 Institute Worcester Polytechnic merancang *force platform* untuk laboratorium biomekanik dalam mengevaluasi *human gait analysis*. Rancangan *force platform* menggunakan empat *strain ring force*, setiap *strain ring* dipasang dua *strain gage* di dua sisi yang berbeda. Fungsi dari *strain ring* dengan *strain gage* sebagai *load cell* yang kemudian dipasang di setiap sudut konstruksi *platform*.



**Gambar 4.3 Strain ring dan model 3D force platform**  
**Worcester Polytechnic Institute**

Sumber: Worcester Polytechnic Institute, 2008

Fungsi *force platform* yang dirancang Institute Worcester Polytechnic mempunyai kemampuan karakteristik, sebagai berikut:

1. Mampu mengukur *ground reaction force*.
2. Mempunyai resolusi yang tepat dan sensitif dalam mengukur *human gait analysis*.
3. Mempunyai keluaran data yang terbaca cukup linear.
4. Faktor keamanan yang baik untuk *force platform* dan objek dalam mengukur *human gait analysis*.
5. Rancangan *force platform* mudah dipindahkan dan portabel.

Heglund, 1981 menjelaskan dalam merancang *force platform* yang ideal sebaiknya , yaitu:

1. Mengukur *ground reaction force*.

*commit to user*

2. Mempunyai sensitifitas dan resolusi yang cukup baik dalam mengukur *human gait analysis*.
3. Memiliki respon linear dalam pembacaan data.
4. Mempunyai kesederhanaan rancangan

#### 4.1.2 Karakteristik Rancangan Force Platform

Hasil dari identifikasi *force platform* selanjutnya sebagai dasar merancang *force platform*. Kriteria utama dalam perancangan *force platform* pada penelitian ini, yaitu:

1. Mampu mengukur *ground reaction force* (GRF).

Dalam mengukur *ground reaction force* (GRF) rancangan *force platform* diperlukan empat *load cell* yang diletakkan dengan posisi orthogonal. Sistem peletakan *load cell* dengan posisi orthogonal agar dapat mengukur letak *center of pressure* (COP). *Load cell* yang digunakan *load cell* tipe L6E dengan spesifikasi pada tabel 4.1.

**Tabel 4.1 Spesifikasi load cell L6E**

Specifications			
Accuracy Class	OIML R60 C3	Temperature effect on span (%FS/10°C)	0.014
Rated output (mV/V)	2.0±0.2	Temperature effect on zero (%FS/10°C)	0.017
Combined error (%FS)	0.02	Temperature, compensated (°C)	-10~+40
Non-linearity (%FS)	0.017	Temperature, Operating (°C)	-35~+65
Non-repeatability (%FS)	0.01	Excitation, Recommended (V)	5-12(DC)
Creep (%FS/30min)	0.015	Excitation, Max. (V)	18(DC)
Input Resistance (Ω)	406±6	Safe Overload (%FS)	150
Output Resistance (Ω)	350±3	Ultimate Overload (%FS)	300
Insulation Resistance (MΩ)	≥5000(50VDC)	Protection Class	IP 65
Zero Balance (%FS)	2.0	Cable Length (m)	2
Off center load error (% per OIML R76)	0.02	Cable spec	4-wire shielded cable φ 5mm
Connections Red Input(+) Black Input(-) Green Output(+) White Output(-) Transparence(shield)			

Sumber: datasheet *load cell* L6E

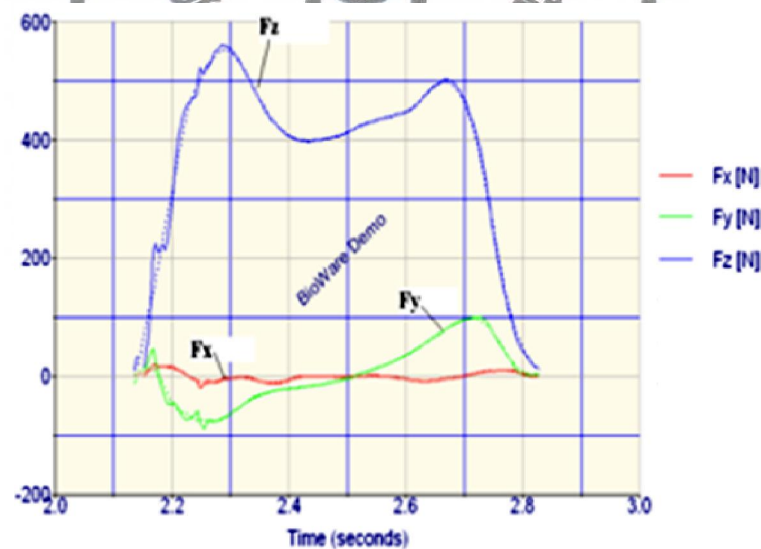
2. Memiliki resolusi pembacaan dan sensitifitas yang baik dalam mengukur gaya pada saat berjalan. Resolusi dan sensitifitas dicapai menggunakan ADC 12bit, tegangan referensi 5 volt, ADC 12 bit dengan resolusi pembacaan sebesar  $2^{(-12)} \times 5000\text{mv} = 1.2207 \text{ mv}$ .

*commit to user*

3. Mempunyai respon pembacaan yang linear, agar pembacaan data terespon secara linear dalam pembacaan dilakukan kalibrasi untuk setiap *load cell*.
4. Sederhana, rancangan *force platform* berbentuk segi empat sesuai dalam mengukur *human gait analysis*.
5. *Portable* (dapat dipindahkan), *force platform* dirancang cukup ringan sehingga mudah dipindahkan. Letak amplifikasi dan *analog to digital converter* (ADC) dirancang menyatu pada *force platform*, agar lebih *portable*.
6. Pengiriman data tanpa kabel, pengiriman data pada *force platform* menggunakan transmisi frekuensi radio dengan perangkat *transmitter* dan *receiver*.

#### 4.1.3 Pembacaan Force Platform

Data hasil pengukuran *ground reaction force* saat objek berjalan pada *force platform* dianalisis dalam bentuk grafik. Grafik *ground reaction force* hasil pembacaan *force platform* komersial ditampilkan pada gambar 4.4.



**Gambar 4.4 Grafik ground reaction force pembacaan force platform komersial**

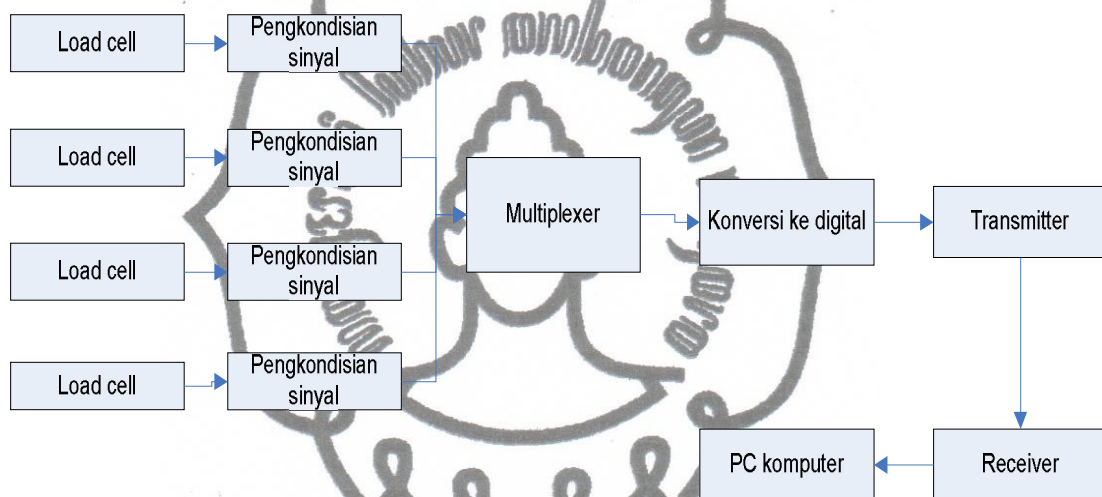
Sumber : Gaddam, 2010

*Ground reaction force* diukur dalam satuan *newton* yang ditampilkan menjadi tiga komponen gaya, yaitu gaya arah vertikal ( $F_z$ ), *medio lateral* ( $F_x$ ), dan *anterior posterior* ( $F_y$ ). Grafik *ground reaction force* tersebut menampilkan sampel data terhadap waktu *sampling data*.



## 4.2 RANCANGAN FORCE PLATFORM

Rancangan *force platform* tersusun dari empat *load cell*, bagian atas terdapat plat yang berfungsi sebagai *top platform*. Pada saat *platform* ditekan oleh injakan kaki, maka *load cell* mengalami regangan dan terjadi perubahan nilai pada resistansinya. Sinyal keluaran dari *load cell* sangat kecil sehingga perlu dikondisikan dengan bantuan pengkondisian sinyal oleh *operational amplifier* (OpAm), selanjutnya dikonversi ke rangkaian digital oleh rangkaian *analog to digital converter*.

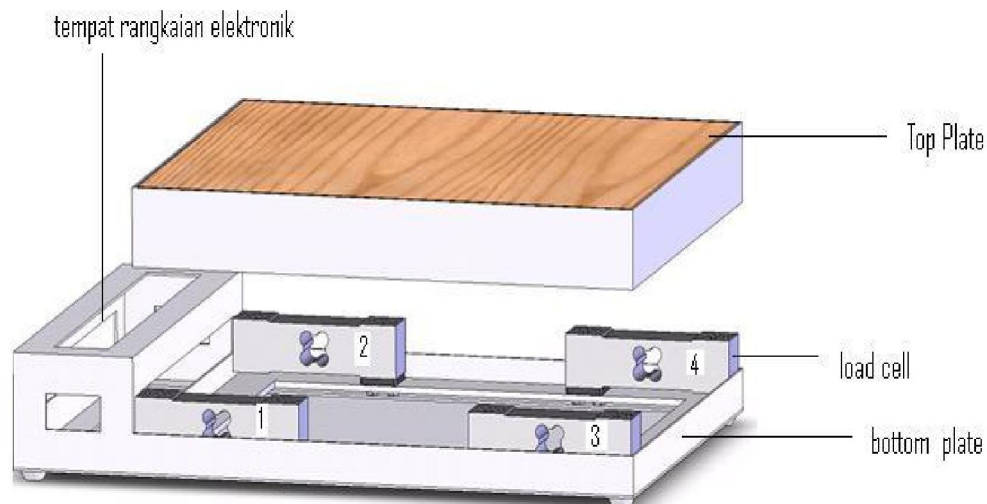


**Gambar 4.5 Blok diagram force platform yang dirancang**

Adanya konstruksi empat *load cell*, sebelum masuk rangkaian ADC perlu sebuah *multiplexer* sebagai saklar otomatis (*scanner*) untuk memilih sinyal masukan dari keempat *transducer*. Sinyal digital ini ditransmisikan melalui *wireless* ke seperangkat komputer, kemudian ditampilkan dalam layar LCD dalam bentuk angka atau grafik dan disimpan ke dalam sistem data base.

### 4.2.1 Rancangan Sistem Mekanik Pada Force Platform

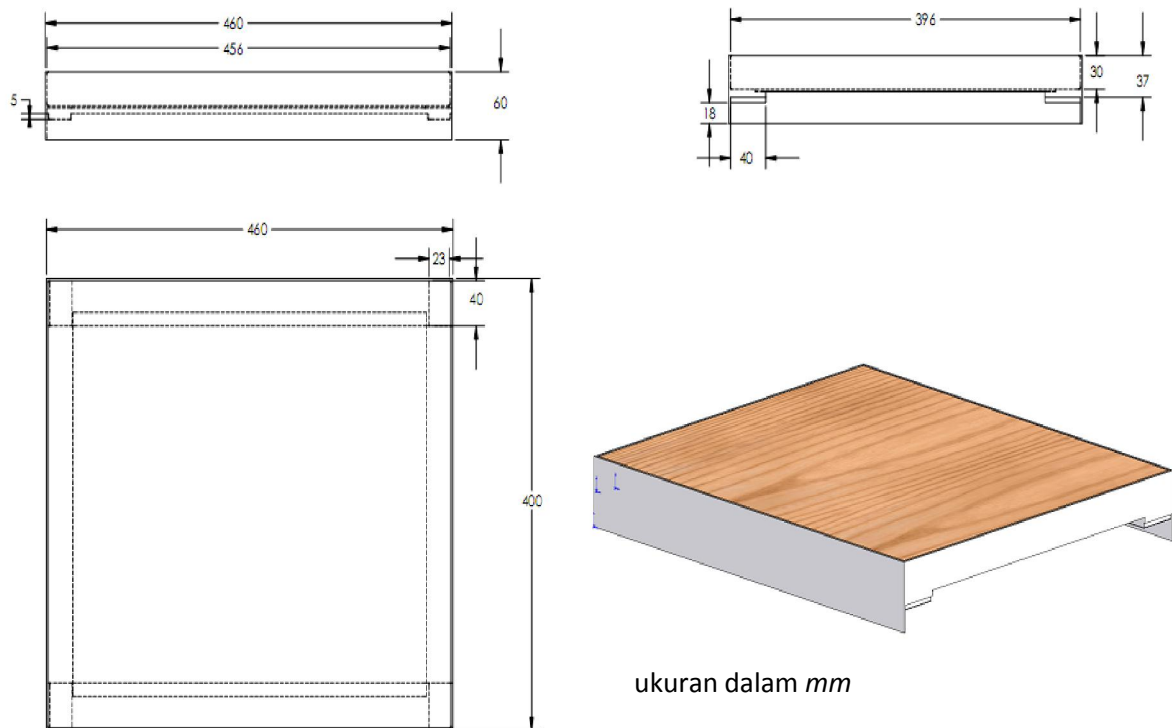
Rancangan sistem mekanik pada *force platform* terdiri dari plat atas, plat bawah, dan *load cell*. Secara umum rancangan *force platform* berbentuk segiempat, sederhana, portable, dan rangkaian elektronik ditempatkan pada bagian konstruksi *force platform*. *Load cell* dipasang pada setiap sudut konstruksi rangka dengan posisi orthogonal. Model 3d rancangan *force platform* ditampilkan pada gambar 4.6.



**Gambar 4.6 Model 3d desain force platform**

Bagian plat atas dari *force platform* dari bahan *woodmultiflex*, bagian rangka plat atas terbuat dari konstruksi besi siku dan besi penekan dengan tebal 5 mm yang berfungsi sebagai penekan pada bidang *load cell*. Papan kayu di desain mudah dilepas (*knockdown*) yang dipasang pada rangka. Penggunaan papan kayu sebagai plat atas dimaksudkan supaya berat dari *force platform* lebih ringan, sehingga dapat dipindahkan pada saat pengukuran.

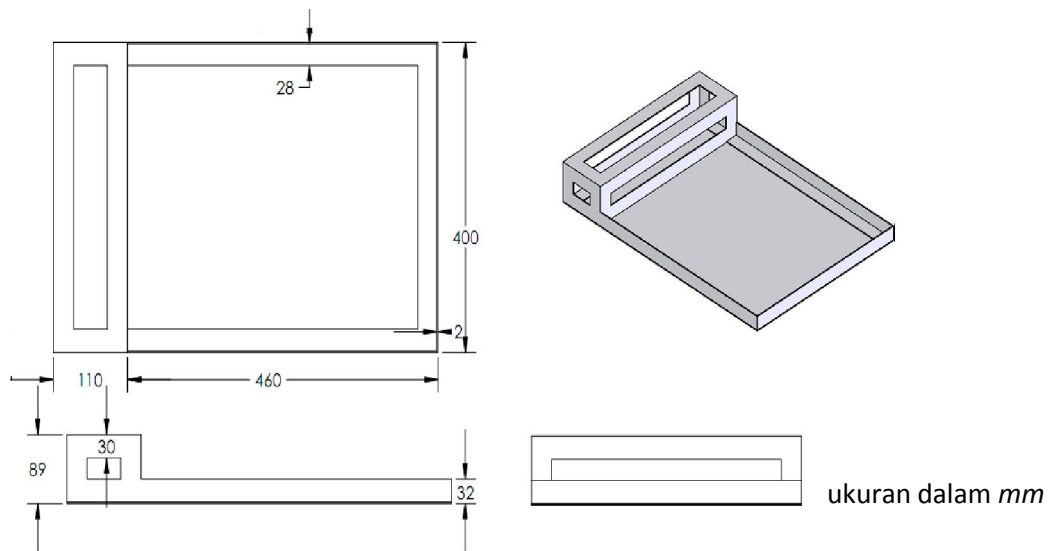
Tempat rangkaian elektronik berbentuk kotak menyatu pada rangka bawah *force platform*. Pada kotak ini dipasang LCD untuk menampilkan data pembacaan *load cell* dan tombol-tombol (tombol power, *switch independent* atau total, dan tombol reset). Tombol power berfungsi untuk menyalakan dan mematikan *force platform*. *Switch independent* atau total digunakan untuk pemilihan tampilan LCD. Mode *independent* menampilkan pembacaan secara independent, sedangkan mode total menampilkan total dari pembacaan ke-empat *load cell*. Tombol reset digunakan untuk mengontrol tampilan pada LCD.



**Gambar 4.7 Plat atas force platform rancangan**

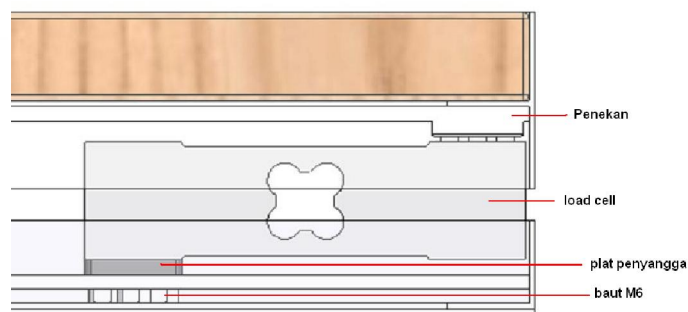
Rangka plat bagian bawah dari *force platform* bahan besi siku. Bagian yang berbentuk kotak berfungsi sebagai tempat untuk menempatkan rangkaian elektronik. Rangkaian elektronik yang ditempatkan di kotak ini mempunyai tujuan *force platform* lebih portabel dan sederhana. Penempatan rangkaian elektronik merupakan rangkaian pengkondisian sinyal, rangkaian pengkonversi sinyal ke digital, dan rangkaian pengiriman data ke data base di komputer.

*Load cell* yang digunakan pada rancangan *force platform* yaitu *load cell* L6E dengan kapasitas 100 kg sebanyak 4 buah. Pada *load cell* terdapat *strain gage* yang terhubung dengan rangkaian jembatan *wheatstone*. Ketika ada voltase masuk, timbul tegangan keluaran yang proporsional atau sesuai dengan beban yang ditimbulkan.



**Gambar 4.8 Rangka bawah force platform rancangan**

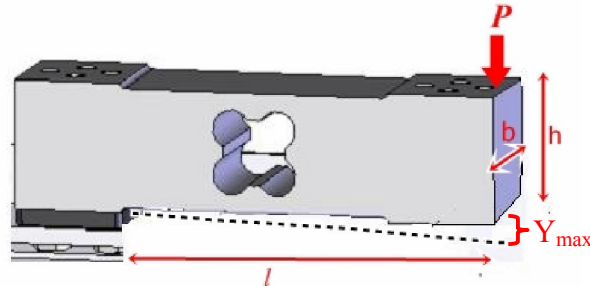
Berdasarkan spesifikasi pada table 4.1, *load cell* yang digunakan memiliki *rated output* sebesar 2mV/V dan *excitation voltage* sebesar 5 VDC, beban maksimum (100 kg), keluaran pada *load cell* ini sebesar 10 mV (diperoleh dengan mengalikan *rated output* dengan *excitation voltage*). Keluaran resistansi tegangan dari *load cell* ini terhitung sangat kecil (10 millivolt ), sehingga dikuatkan terlebih dahulu sebelum penggunaan oleh rangkaian instrument amplifier.



**Gambar 4.9 Skema pemasangan load cell**

*Load cell* pada *force platform* dipasang di setiap sudut rangka dengan ditambah plat besi segiempat di salah satu bagian sisi bawah. Jadi, bagian konstruksi *platform* dibawah tidak ditambahkan landasan plat. Dimaksudkan dari pemasangan ini, agar titik tekan pada bidang *load cell* hanya mempunyai satu titik (*single point adjustment reference*), menjadikan *load cell* mempunyai nilai pembacaan sensitifitas dapat meningkat. Ketika *load cell* ditekan, *load cell*

mengalami perubahan panjang karena bagian yang tertekan akan melengkung ke bawah.



**Gambar 4.10 Defleksi penampang load cell**

Load cell l6E memiliki dimensi sebagai berikut:

$$\text{Lebar (b)} = 0.035 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (h)} = 0.04 \text{ m}$$

$$l = 0.117 \text{ m}$$

Modulus elastisitas dari bahan load cell,  $E = 70 \times 10^9 \text{ N/m}^2$

$$\begin{aligned} \text{Momen inersia bidang kontak, } I &= \frac{b \cdot h^3}{12} \\ &= \frac{0,035\text{m} \cdot (0,04\text{m})^3}{12} \\ &= 1,8667 \times 10^{-7} \text{ m}^4 \end{aligned}$$

*Load cell* yang diposisikan seperti gambar 4.10 jika mendapat tekanan sebesar 1000N, maka defleksi maksimumnya dapat dihitung sebagai berikut:

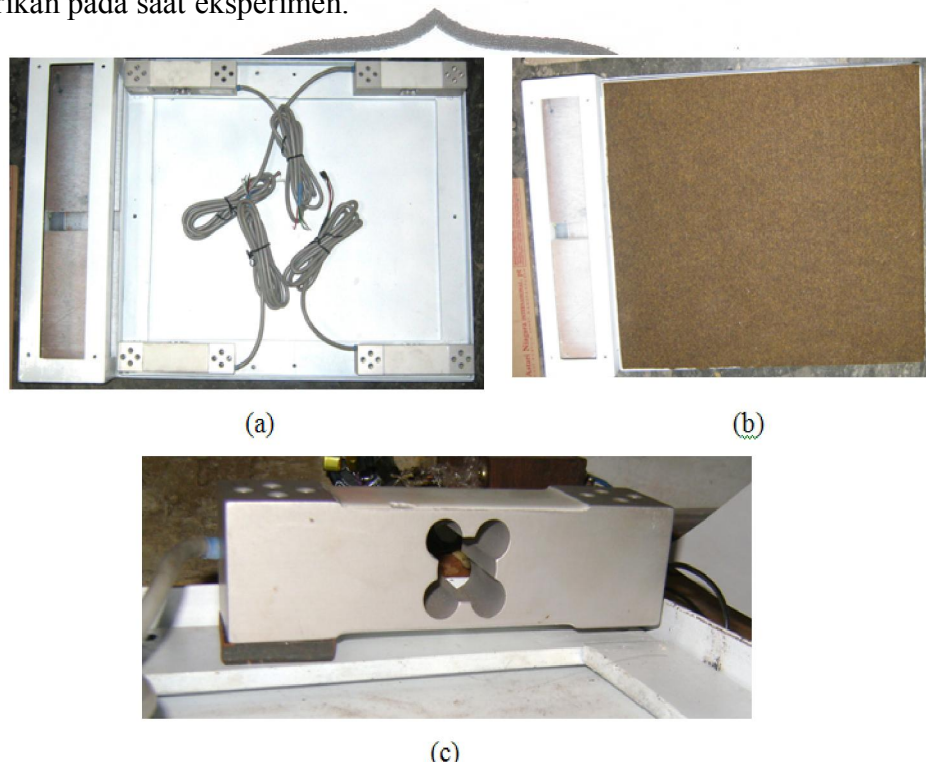
$$\begin{aligned} Y_{max} &= \frac{P \cdot l^3}{E \cdot I} \\ &= \frac{1000\text{N} \cdot (0,117\text{m})^3}{70 \times 10^9 \text{N/m}^2 \cdot 1,8667 \times 10^{-7} \text{ m}^4} \\ &= 1,2257 \times 10^{-4} \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi, defleksi maksimum *load cell* jika diberi tekanan 1000N sebesar  $1,2257 \times 10^{-4}$  m atau sama dengan 0,12257 mm.

Proses realisasi pada bagian mekanik *force platform*, plat besi di las dan dirangkai menjadi rangka *force platform*. Pada gambar 4.11 (a) merupakan realisasi dari bagian rangka dari *force platform* tampak atas. Gambar 4.11 (b) merupakan realisasi *force platform* yang sudah dipasang plat atas. Bagian plat atas dari *force platform* diberi lapisan karpet dengan tujuan tidak



licin saat digunakan untuk pengukuran gaya reaksi tanah (GRF) pada saat eksperimen. Gambar 4.11 (c) merupakan realisasi pemasangan *load cell* pada rangka *force platform*. *Load cell* dipasang pada bagian pojok rangka bawah. Pemasangan *load cell* dibuat sesuai rancangan yaitu dipasang pada posisi bagian pangkal diberi tumpuan besi plat, kemudian dikencangkan dengan baut M6 sebanyak 4 buah. Posisi demikian *load cell* lebih sensitif terhadap tekanan yang diberikan pada saat eksperimen.

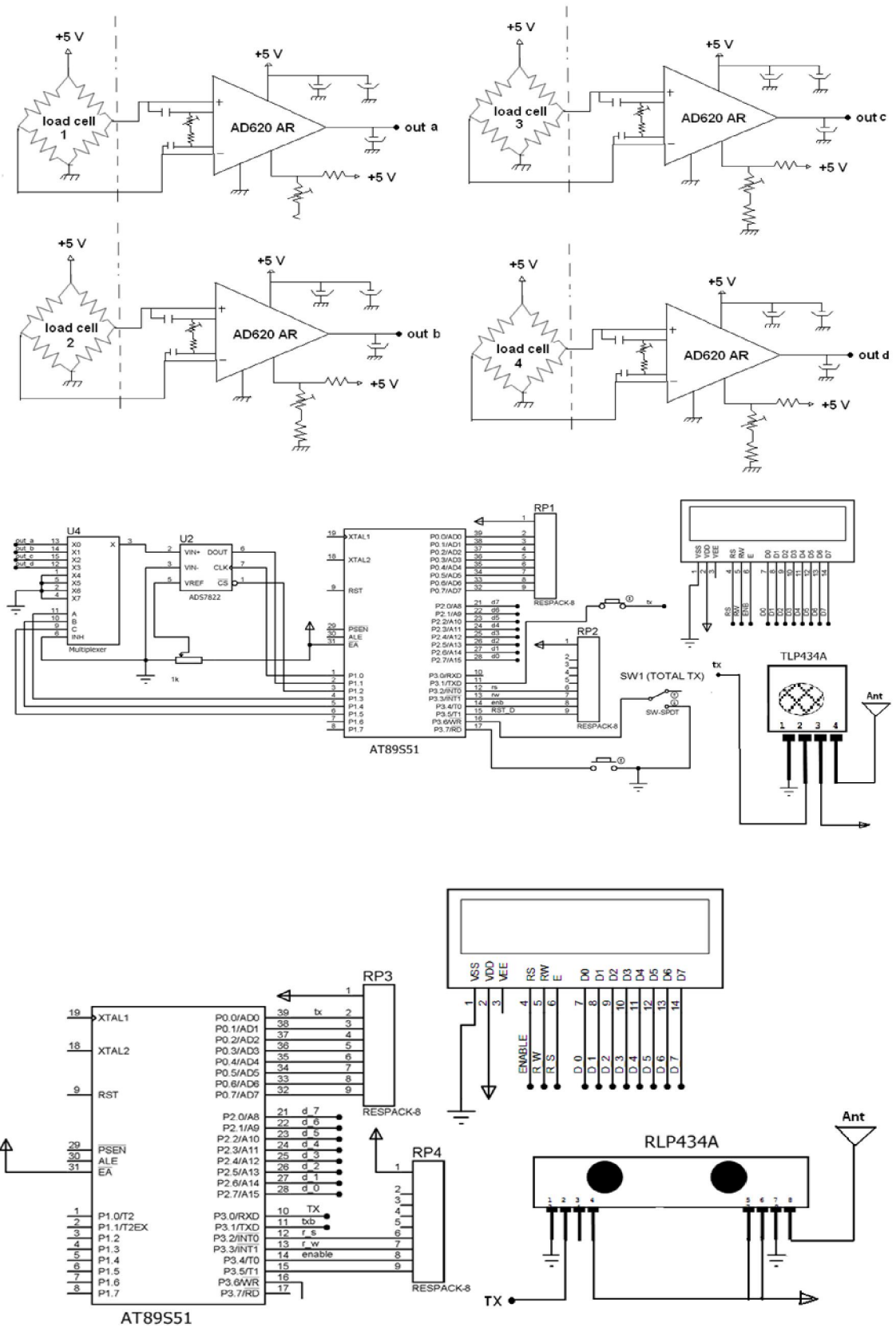


**Gambar 4.11 Realisasi bagian mekanik force platform**

#### **4.2.2 Sistem Elektronika Pada Rancangan Force Platform**

Sistem elektronik terdiri dari rangkaian pengkondisian sinyal, rangkaian konversi ke digital, dan pengiriman data ke *database* komputer. Rancangan bagian elektronik dari *force platform* ditampilkan pada gambar 4.12.





Sinyal keluaran dari *load cell* sangat kecil, sehingga perlu dirancang rangkaian pengkondisian sinyal untuk menguatkan keluaran *load cell*. Masukan ADC (*analog to digital converter*) berkisar antara 0,99 volt sampai dengan 5 volt, keluaran maksimum dari *load cell* sebesar 10 mV. Sinyal keluaran dari *load cell* ini dikuatkan kembali dan diatur sebesar 500 kali. Hasil penguatan ini diperoleh dengan perhitungan, sebagai berikut:

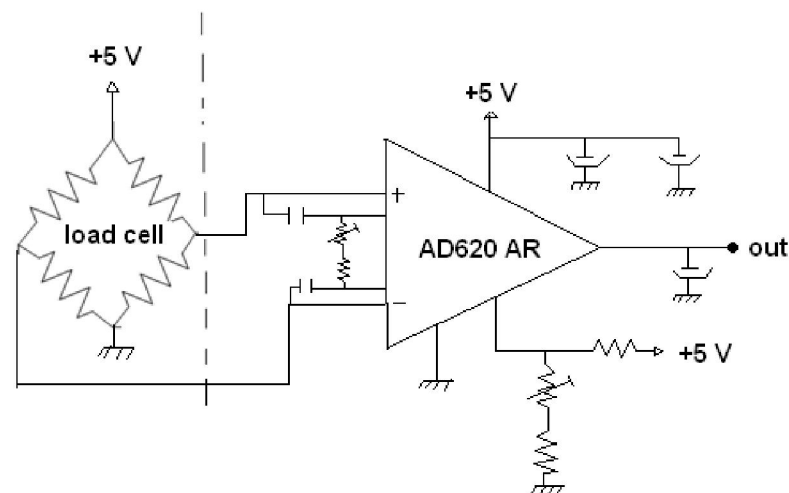
Secara teoritis, voltase keluaran hasil dari penguatan oleh amplifiier ditampilkan pada tabel 4.2.

**Tabel 4.2 Voltase keluaran teoritis penguatan**

[illegible]

Rancangan amplifier yang digunakan untuk pengkondisian sinyal yaitu AD620. Amplifier ini berbentuk sebuah IC (*integrated Circuit*), IC AD620 merupakan gabungan dari tiga op-amp. Op amp satu dan op amp kedua berfungsi sebagai penguat dari keluaran *load cell*, kemudian op amp ketiga berfungsi mencari selisih dari op amp satu dan op amp dua pada rangkaian amplifier.

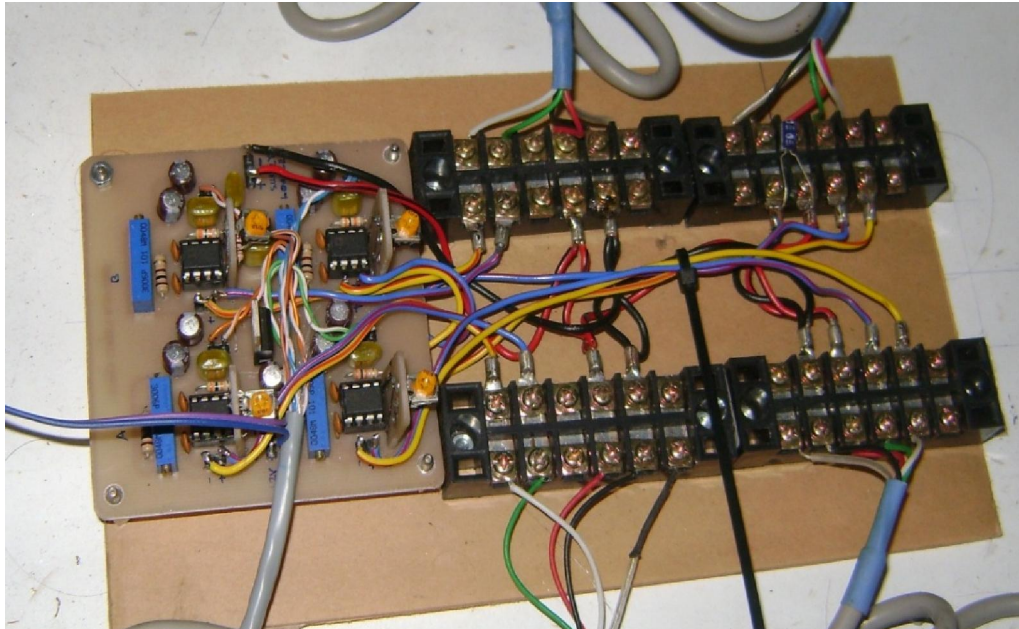
Keempat *load cell* yang dipasang masing-masing dihubungkan dengan sebuah AD620 seperti ditunjukkan pada gambar 4.13. Mengatasi perbedaan tegangan *offset* dari pembacaan *load cell*, AD620 dihubungkan dengan hambatan variabel untuk mengatur tegangan referensi. Tegangan referensi ini berikutnya digunakan sebagai sarana dalam mengatur keluaran dari *load cell*. Jika, besar beban yang diberikan pada *load cell* tidak sebanding dengan tegangan keluaran, maka cara yang dilakukan dengan mengatur tegangan referensi dengan cara memutar hambatan variabel. Pemutaran hambatan variabel dilakukan sampai akhirnya diperoleh voltase keluaran yang sebanding dengan besarnya beban yang diberikan pada *load cell*.



**Gambar 4.13 Skema rangkaian pengkondisian sinyal**

Tegangan masukan sebesar 5 volt (arus tegangan keluar dari adaptor) sebagai sumber untuk AD620 yang diratakan melalui dua kapasitor. Tegangan arus yang masuk masih terdapat *noise*, sehingga proses menyaring *noise* digunakan kapasitor *mylar*, agar tegangan masukan menjadi rata. Sama halnya dengan hasil keluaran dari pengkondisian sinyal dipasang kapasitor sebagai *filter*.

Hasil dari rangkaian pengkondisian sinyal dari *load cell* seperti ditunjukkan pada gambar 4.14. Keempat *load cell* dihubungkan ke terminal sebelum masuk ke pengkondisian sinyal.

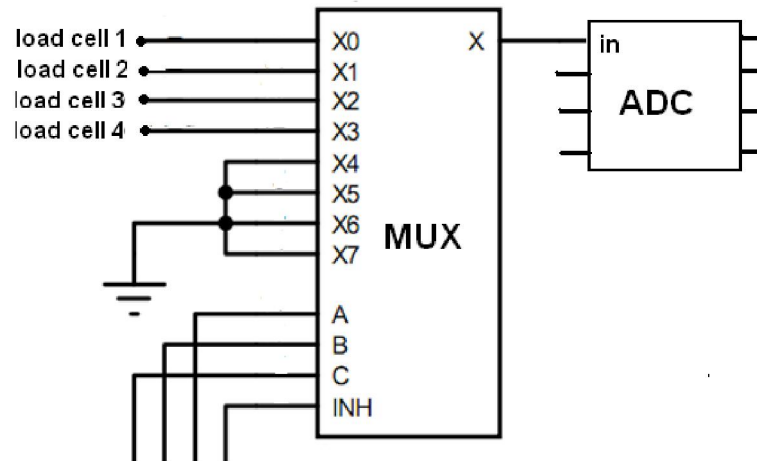


**Gambar 4.14 Rangkaian pengkondisian sinyal load cell**

Pengaturan tegangan referensi pada pengkondisian sinyal dari *load cell*, digunakan *trimpot* untuk setiap amplifier AD620AR. Pengaturan tegangan referensi berguna dalam proses kalibrasi sinyal keluaran *load cell* ketika diberi tekanan. Cara pengaturan tegangan referensi dilakukan dengan memutar *trimpot* ke arah hambatan yang lebih besar atau lebih kecil.

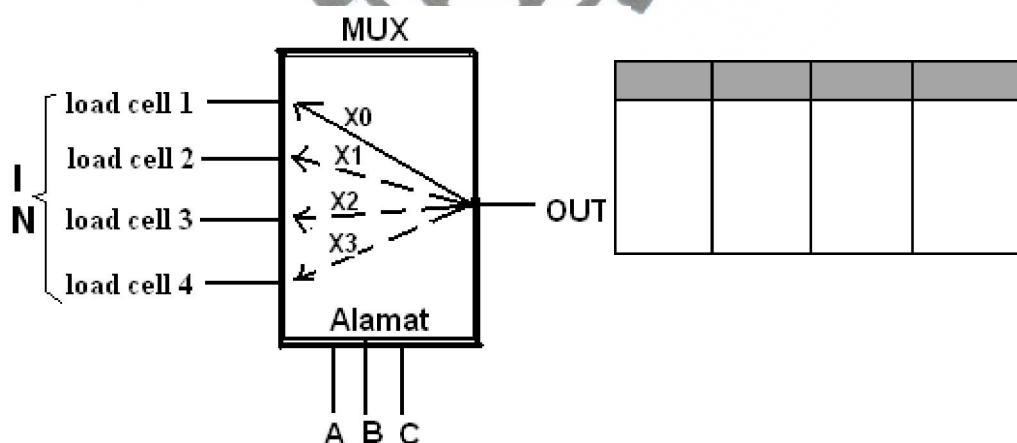
## **B. Multiplexer Pada Rancangan Elektronika Force Platform**

Proses pembacaan pada *force platform* yang dirancang terdapat empat buah *load cell* pada saat terjadi tekanan di bidang permukaan. Sinyal dari masing-masing *load cell* ini dikuatkan dan dicari nilai selisihnya oleh amplifier dari beda potensial yang terjadi pada saat terjadinya penekanan. Adanya empat *load cell*, berarti ada empat sinyal keluaran *load cell* yang masuk ke rangkaian pengkonversi digital. Dalam mengatur sinyal yang keluar dari keempat *load cell* menuju rangkaian ADC diperlukan *multiplexer* yang berfungsi sebagai pencari sinyal keluaran dari *load cell* ke 1 sampai dengan *load cell* ke 4.



**Gambar 4.15 Skema multiplexer pada rancangan force platform**

Rancangan elektronika pada *multiplexer* ini mempunyai satu keluaran menuju rangkaian pengkonversi ke digital. Jadi, ketika bagian atas *force platform* ditekan maka *load cell* langsung mengkonversi tekanan tersebut ke tegangan. Perbedaan dalam pembacaan besarnya tekanan pada *load cell* ke 1 sampai *load cell* ke 4 mempunyai nilai yang berbeda sesuai besarnya tekanan yang diterima. Sinyal keluaran dari tiap *load cell* ini di *scan* secara terus menerus, kemudian masuk ke rangkaian ADC (*analog to digital conversion*) pada *multiplexer*.



**Gambar 4.16 Logika dalam multiplexer pada rancangan force platform**

Proses *scanning* oleh *multiplexer* mempunyai prinsip saklar otomatis yang diatur oleh *microcontroller*. Dalam pengaturan saluran mana yang aktif digunakan logika alamat (*address*) seperti pada gambar 4.16. Saluran X0 aktif pada alamat 000, saluran X1 aktif pada alamat 001, saluran X2 aktif pada alamat 010, dan



alamat  $X3$  aktif pada alamat 011. Proses pengaktifan saluran ini berlangsung sangat cepat dalam satuan *NS* (*NanoSecond*). Pengendali dalam perpindahan saluran dilakukan oleh *microcontroller*, kaki ABC sebagai alamat dihubungkan dengan kaki *microcontroller*. Pengaktifan rangkaian multiplexer sebagaimana ditampilkan pada kode program di bawah ini.

*sa bit p1.3 ; in mux bit 0*

*sb bit p1.4 ; in mux bit 1*

*sc bit p1.5 ; in mux bit 2*

Penjelasan dari kode program yaitu saluran A merupakan alamat pada *port* 1.3, saluran B merupakan *port* 1.4, dan saluran C merupakan *port* 1.5.

### C. Rangkaian Konversi Analog ke Digital (ADC)

Rangkaian konversi analog ke digital (ADC) berfungsi mengubah sinyal keluaran dari *load cell* menjadi bit digital, sehingga memudahkan dalam pembacaan pada perangkat komputer. Prinsip kerja dari rangkaian ADC yaitu proses mengambil sampel data (*sampling*) dari sinyal yang dikonversi kemudian proses penahanan (*holding*) dengan memanfaatkan kemampuan kapasitor. Sinyal yang sudah ditahan pada kapasitor, selanjutnya dikonversi ke bit digital. ADC pada rangkaian ini menggunakan IC ADS7822 dengan kemampuan resolusi sebanyak 12 bit. Artinya, kemampuan ini dapat mengkonversi sinyal analog dari 0,99 volt – 5 volt menjadi data digital 12 bit. ADS7822 memiliki kapasitor internal untuk memproses data *sampling* dan *holding*-nya dalam pengkonversian ke digital.

Proses digitalisasi pada sistem ADS7822 merupakan rangkaian konversi ke digital 12bit ( $2^{12}$ ) = 4096 bits. Masukan dari rangkaian ini sebesar 5 volt sebesar , maka secara teoritis rangkaian ini memberikan konversi 819.2 bits/volt. Hasil ini diperoleh dari perhitungan  $2^{12} = 4096$  bits, dengan range masukan 5 volt.

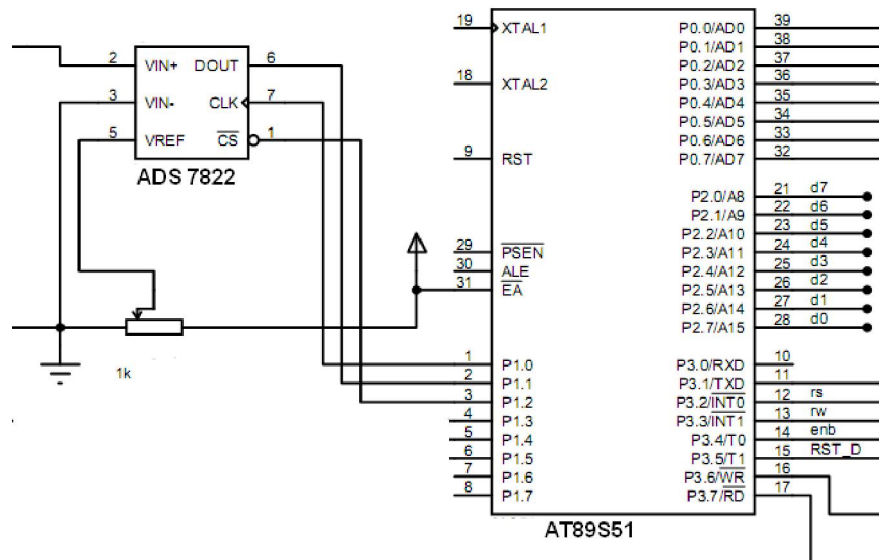
$$\text{Konversi} = \frac{4096 \text{ bits}}{5\text{V}} = 819.2 \text{ bits/volt},$$

Artinya, jika rangkaian ini mendapat tegangan masukan 1 volt maka keluaran bertambah sebanyak 819.2 bits dan berlaku kelipatannya. Jika, *load cell* mendapat beban sebesar 10 kg menghasilkan 0.5 volt x 819.2 bits/volt = 409.6 bits.



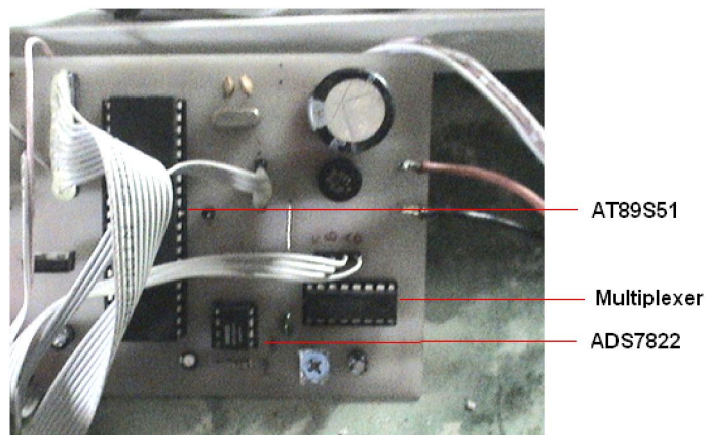
Keluaran dibaca menjadi 409 bits, karena rangkaian ini tidak dapat membaca pecahan. Dalam mengaktifkan ADC digunakan program berikut ini.

```
CS      BIT P1.2 ; chip select
D_OUT   BIT P1.1 ; in/out
SCLK    BIT P1.0 ; serial clock
FLAG0   EQU F0
```



**Gambar 4.17 Rangkaian konversi analog ke digital**

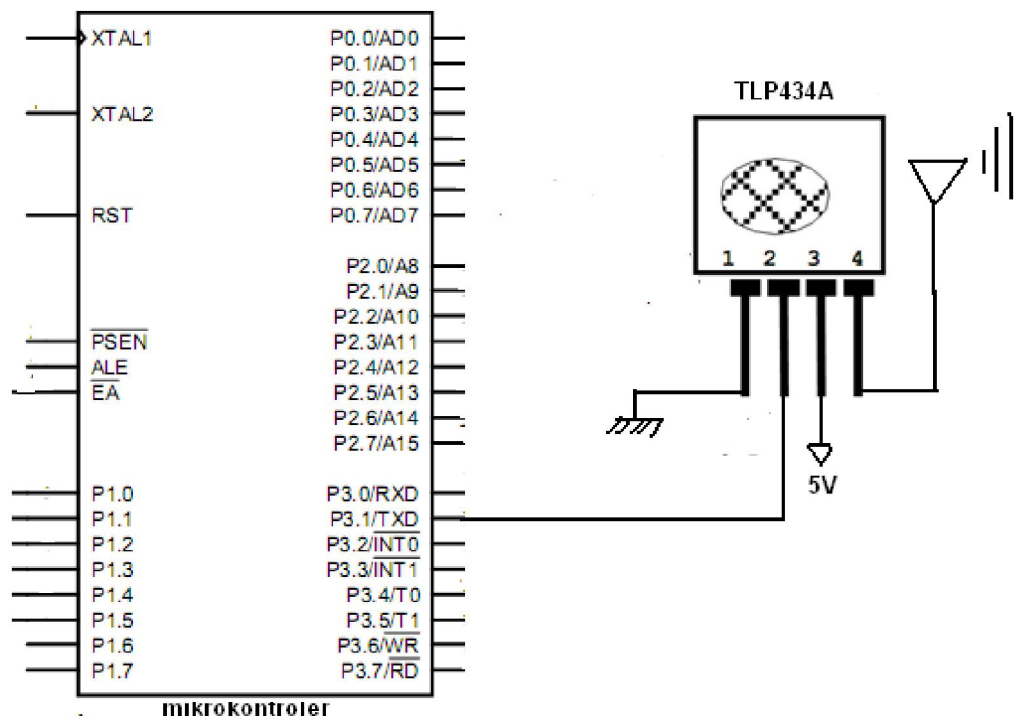
Hasil rancangan untuk *multiplexer*, ADC ADS7822, dan *microcontroller* AT89S51 ditempatkan pada posisi dalam satu rangkain PCB. Rangkaian ini diletakkan pada kotak pada rangka *force platform*. Rancangan *microcontroller* data yang berupa *bit* digital ditampilkan pada layar LCD dan ditransmisikan ke data base komputer melalui sistem *wireless*.



**Gambar 4.18 Rangkaian pengkonversi ke digital**

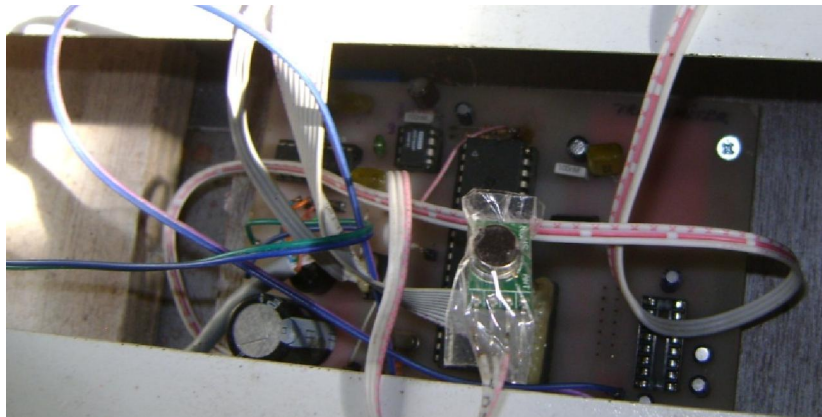
#### D. Transmitter (Pemancar) Pada Rancangan Force Platform

Data dikirim dari perangkat konversi digital ke data base komputer melalui *transmitter*. Selanjutnya, data yang terbaca dikirim oleh *transmitter* yang dipancarkan melalui *header*, pembacaan data yang dikirim dapat diterima dan dikenali oleh system di *receiver* (penerima). Pemancar yang digunakan dalam rangkaian ini yaitu TLP434A. Proses pengiriman data, rangkaian ini dibantu oleh *microcontroller*. Pada rangkaian TLP434A dengan kaki 1 sebagai *ground*, kaki 2 dihubungkan pada kaki *microcontroller* TXD, kaki 3 merupakan tegangan masukan, dan kaki 4 merupakan antenna (keluaran). Selain dikirimkan ke data base omputer melalui *receiver*, data juga akan ditampilkan pada layar LCD. Rangkaian pengiriman data berfungsi sebagai pengirim data secara terus menerus ke *receiver* (tanpa ada umpan balik). Data yang dikirim oleh *transmitter* ditangkap oleh *receiver* (penerima) yang selanjutnya data disimpan di data base komputer.



Gambar 4.19 Pemancar RF TLP434A

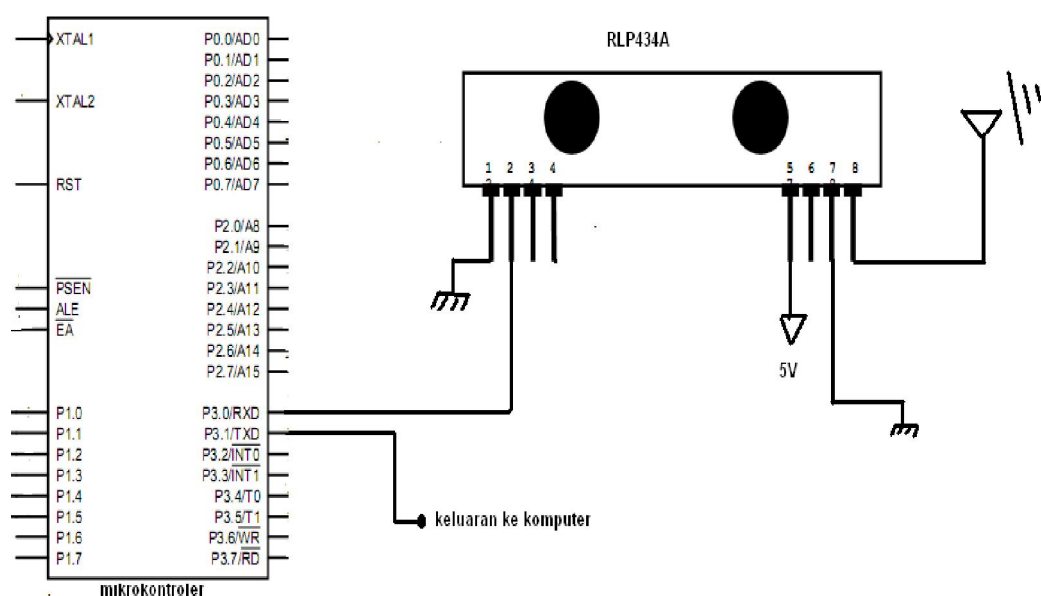
Hasil dari rangkaian pemancar pada *force platform* ditampilkan pada gambar 4.20 Pemancar diletakkan dalam kotak yang terdapat di rangka *force platform*.



**Gambar 4.20 Hasil dari rancangan pemancar RF TLP434A**

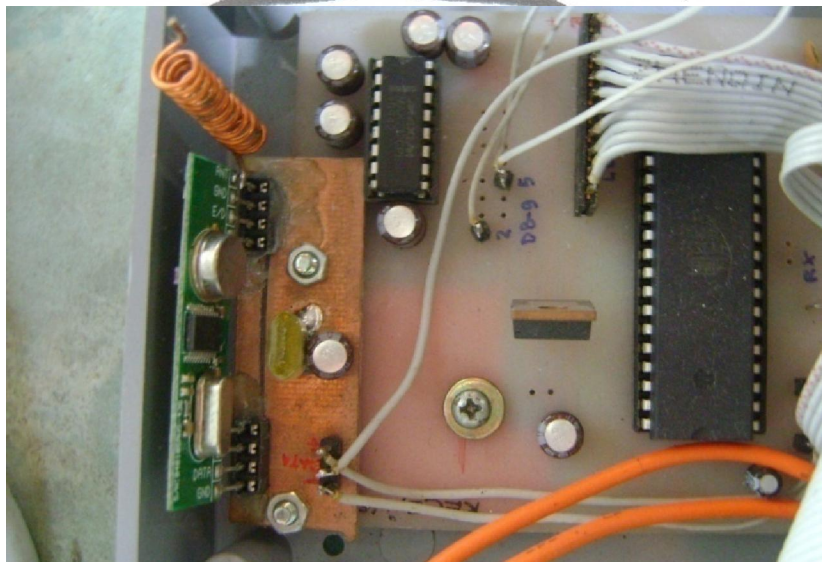
### E. Receiver (Penerima) Pada Rancangan Force Platform

Rangkaian elektronika penerima digunakan RLP434A yang proses penerimaan data dibantu oleh *microcontroller*. Perangkat penerima ini berfungsi menerima masukan data (tanpa meminta), maksudnya semua data yang dikenal diterima sesuai alamat *headernya* (tanpa memberikan umpan balik). Dalam konfigurasinya penerima digunakan RLP434A, kaki 8 sebagai antenna penerima sinyal dari *transmitter*. Kaki 2 dihubungkan pada kaki RXD pada *microcontroller*. Keluaran dari *microcontroller* dikirim ke data base komputer untuk disimpan dalam sistem.



**Gambar 4.21 Receiver RLP434A**

Penempatan rangkaian penerima diletakan pada kotak tersendiri yang terpisah dari *force platform*. Pada kotak penerima terdapat layar LCD untuk mengetahui data yang dikirimkan oleh pemancar. Penerima tersebut dihubungkan dengan *max 232* dan *converter* ke USB, agar tersambung dengan sistem data base di komputer. Pada bagian penerima, antenna terbuat dari kawat tembaga yang dibentuk seperti spiral seperti pada gambar 4.22. Antena berfungsi sebagai penerima sinyal yang dikirim oleh pemancar.



**Gambar 4.22 Rangkaian penerima pada rancangan force platform**

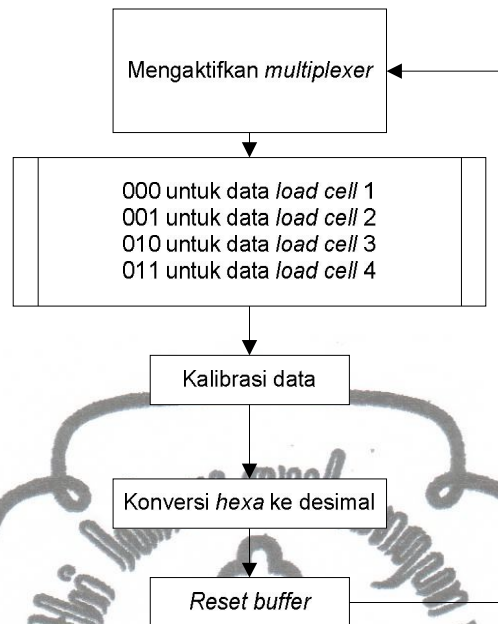
#### **4.2.3 Bagian Kendali Pada Rancangan Force Platform**

*Force platform* memiliki bagian untuk mengendalikan semua aktifitas selama proses pengambilan data sampai data tertampil pada layar LCD dan dikirim ke data base komputer. Perangkat yang mengendalikan aktifitas tersebut berupa *microcontroler*. *Microcontroler* bekerja sesuai program yang telah dituliskan dalam perancangan desain pembacaan data.

##### **A. Program Kendali Dalam Pengambil Data Dari Load Cell**

Sebelum membuat program untuk mengatur pengambilan data dari *load cell*, dirancang *flow chart* dari proses pengambilan data. *Flow chart* dibuat pertama kali sebelum membuat program awal, hal ini dilakukan agar menjadi mudah dan terarah, selain itu mempermudah dalam pencarian kesalahan program.





**Gambar 4.23 Flowchart mengambil data load cell**

Penjelasan dari *flowchart* pada gambar 4.23, sebagai berikut:

### 1. Proses mengaktifkan multiplexer.

Pengambilan data dari *load cell* ke 1, alamat *multiplexer* yang aktif yaitu 000. Data *load cell* ke 2 diambil dengan mengaktifkan alamat 001 pada *multiplexer*, data *load cell* ke 3 diambil dengan mengaktifkan alamat 010, dan data *load cell* ke 4 diambil dengan mengaktifkan alamat 011 pada *multiplexer*.

Program untuk mengambil data dari *load cell* ke 1, *load cell* ke 2, *load cell* ke 3, dan *load cell* ke 4.

```

in0:  call d100
      clr sa ; sa bernilai 0
      clr sb ; sb bernilai 0
      clr sc ; sc bernilai 0
      call d100
      call saving_sampling
      ret
    } alamat multiplexer yang aktif 000
  
```

```

in1:  call d100
      setb sa ; sa bernilai 1
      clr sb ; sb bernilai 0
      clr sc ; sc bernilai 0
      call d100
      call saving_sampling
      ret
    } alamat multiplexer yang aktif 001
  
```

```

in2:  call d100
      clr sa ; sa bernilai 0
      setb sb ; sb bernilai 1
      clr sc ; sc bernilai 0
      call d100
      call saving_sampling
      ret
      } alamat multiplexer yang aktif 010

in3:  call d100
      setb sa ; sa bernilai 1
      setb sb ; sb bernilai 1
      clr sc ; sc bernilai 0
      call d100
      call saving_sampling
      ret
      } alamat multiplexer yang aktif 011

```

## 2. Kalibrasi data.

Kalibrasi data dilakukan dengan cara mengurangi data pembacaan *load cell* dengan data *offset*. Data *offset* merupakan angka yang terukur sebelum *load cell* mengalami penekanan. Pengurangan bertujuan mendapatkan data pengukuran yang sebenarnya dari pembacaan setiap *load cell*.

```

cnv_a: MOV DX_A0,DTLSB
      MOV DX_A1,DTMSB
      mov facsub,dr_a0
      mov facsub+1,dr_a1
      call kurangi_data_kalibrasi

cnv_b: MOV DX_B0,DTLSB
      MOV DX_B1,DTMSB
      mov facsub,dr_b0
      mov facsub+1,dr_b1
      call kurangi_data_kalibrasi

cnv_c: MOV DX_C0,DTLSB
      MOV DX_C1,DTMSB
      mov facsub,dr_c0
      mov facsub+1,dr_c1
      call kurangi_data_kalibrasi

cnv_d: MOV DX_D0,DTLSB
      MOV DX_D1,DTMSB
      mov facsub,dr_d0
      mov facsub+1,dr_d1
      call kurangi_data_kalibrasi

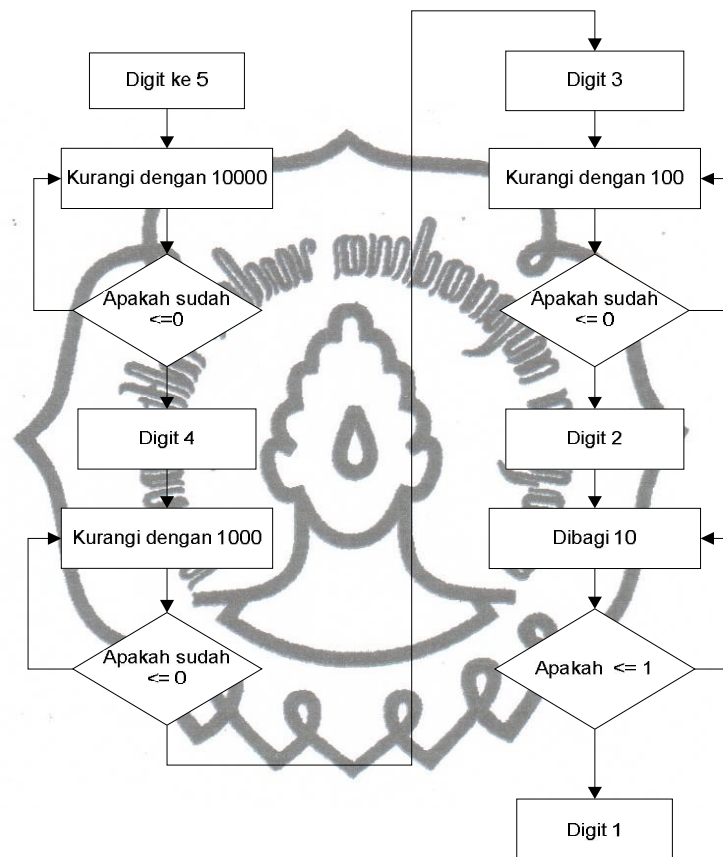
```

*commit to user*



### 3. Konversi dari hexa ke digital.

Data yang diambil masih dalam format *hexadecimal*, data ini kemudian diubah ke bentuk desimal dengan urutan proses perubahan format yang ditunjukkan pada gambar 4.24.



**Gambar 4.24 Flowchart konversi hexa ke decimal**

*Microcontroller* yang digunakan adalah *microcontroller* 16 bit, jadi data yang dikonversi maksimal berjumlah 5 digit ( $2^{16} = 65536$ ). Konversi dimulai dari digit ke-5 dikurangi 10000, karena digit kelima merupakan data puluhan ribu.

Pengurangan dilakukan sampai hasil pengurangan  $\leq 0$ . Jika, digit ke-5 sudah  $\leq 0$ , proses konversi pindah digit ke-4 dikurangi 1000, karena digit ke-4 merupakan data ribuan. Pengurangan dilakukan sampai hasil pengurangan  $\leq 0$ . Jika, hasil pengurangan digit ke-4 sudah  $\leq 0$ , konversi pindah ke digit ke-3 dikurangi 100. Pengurangan dilakukan sampai hasil pengurangan  $\leq 0$ . Jika, hasil pengurangan digit ke-3 sudah  $\leq 0$ , konversi pindah ke digit ke-2 dibagi 10. Jika, hasil bagi sudah  $\leq 1$ , proses konversi digit ke-2 berhenti. Sisa dari hasil

pembagian ditambahkan ke digit ke-1 sebagai data satuan. Program untuk menkonversi data sesuai gambar 4.24.

```
CNV_HEX2DEC_12BIT:
    push psw
    MOV DPL,DTLSB
    MOV DPH,DTMSB
```

```
DIGIT5:
    MOV dg5,#00H
    CLR C
```

```
LOOP4:
    MOV A,DPL
    SUBB A,#10H
    MOV 21H,A
    ;-----
    MOV A,DPH
    SUBB A,#27H
    MOV 22H,A
    ;-----
    JBC CY,DIGIT4
    INC dg5
    MOV DPL,21H
    MOV DPH,22H
    SJMP LOOP4
```

```
DIGIT4:
    MOV dg4,#00H
```

```
LOOP5:
    MOV A,DPL
    SUBB A,#0E8H
    MOV 21H,A
    ;-----
    MOV A,DPH
    SUBB A,#03H
    MOV 22H,A
    ;-----
    JBC CY,DIGIT3
    INC dg4
    MOV DPL,21H
    MOV DPH,22H
    SJMP LOOP5
```

```
DIGIT3:
    MOV dg3,#00H
```

```
LOOP6:
    MOV A,DPL
    SUBB A,#64H
    MOV 21H,A
    ;-----
    MOV A,DPH
    SUBB A,#00H
    MOV 22H,A
    ;-----
```

*commit to user*

```

JBC CY,DIGIT2
INC dg3
MOV DPL,21H
MOV DPH,22H
SJMP LOOP6
DIGIT2:
MOV A,DPL
MOV B,#0AH
DIV AB
MOV dg2,A
DIGIT1:
MOV dg1,B
MOV 21H,#0
MOV 22H,#0
pop psw
RET

```

#### 4. Reset buffer.

Fungsi dari *reset buffer* dimaksudkan untuk membersihkan data yang ada pada saat proses penyimpanan sementara. Setelah *buffer* dibersihkan, proses pengambilan data dilakukan untuk *load cell* selanjutnya.

```

reset_in_buf:
mov buf1+0,#0
mov buf1+1,#0
mov buf1+2,#0
mov buf1+3,#0
mov buf1+4,#0
mov buf1+5,#0
mov buf1+6,#0
mov buf1+7,#0
mov buf1+8,#0
mov buf1+9,#0
mov buf1+10,#0
mov buf1+11,#0
mov buf1+12,#0
mov buf1+13,#0
mov buf1+14,#0
mov buf1+15,#0

```

```

mov buf2+0,#0
mov buf2+1,#0
mov buf2+2,#0
mov buf2+3,#0
mov buf2+4,#0
mov buf2+5,#0
mov buf2+6,#0

```

*commit to user*

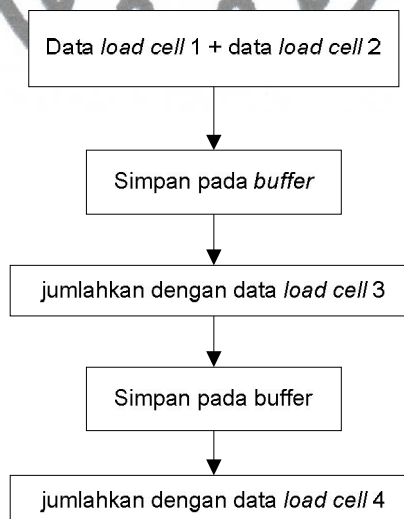
```

mov buf2+7,#0
mov buf2+8,#0
mov buf2+9,#0
mov buf2+10,#0
mov buf2+11,#0
mov buf2+12,#0
mov buf2+13,#0
mov buf2+14,#0
mov buf2+15,#0
ret

```

### B. Program Jumlah Total Pembacaan Load Cell

Mencegah terjadinya masalah dalam kesalahan di proses pembacaan data yang keluar dari *load cell* dan proses komputasi untuk menjumlahkan total dari pembacaan setiap *load cell*, maka proses dilakukan secara bertahap. Pada saat awal penjumlahan dilakukan terhadap data *load cell* ke 1 + *load cell* ke 2. Hasil pembacaan datanya disimpan sementara pada *buffer*. Hasil penjumlahan *load cell* ke 1+2, selanjutnya ditambah dengan data *load cell* ke 3. Hasil penjumlahan *load cell* ke 1+2+3 dan disimpan terlebih dahulu, selanjutnya dijumlahkan dengan data pada *load cell* ke 4.



**Gambar 4.25 Flowchart jumlah total pembacaan load cell**

Kode program komputasi untuk total pembacaan *load cell*, sebagai berikut:

```

jumlah_total:
mov operand,DI_A0
mov operand+1,DI_A1

```

```

mov pembagi,DI_B0
mov pembagi+1,DI_B1
mov r0,#operand ;<<<=hilangkan utk pembagian&perkalian
mov r1,#pembagi ;<<<=hilangkan utk pembagian&perkalian
call penambahan
mov dtlsb,30h
mov dtmsb,31h

mov operand,DTLSB
mov operand+1,DTMSB
mov pembagi,DI_C0
mov pembagi+1,DI_C1
mov r0,#operand ;<<<=hilangkan utk pembagian&perkalian
mov r1,#pembagi ;<<<=hilangkan utk pembagian&perkalian
call penambahan
mov dtlsb,30h
mov dtmsb,31h

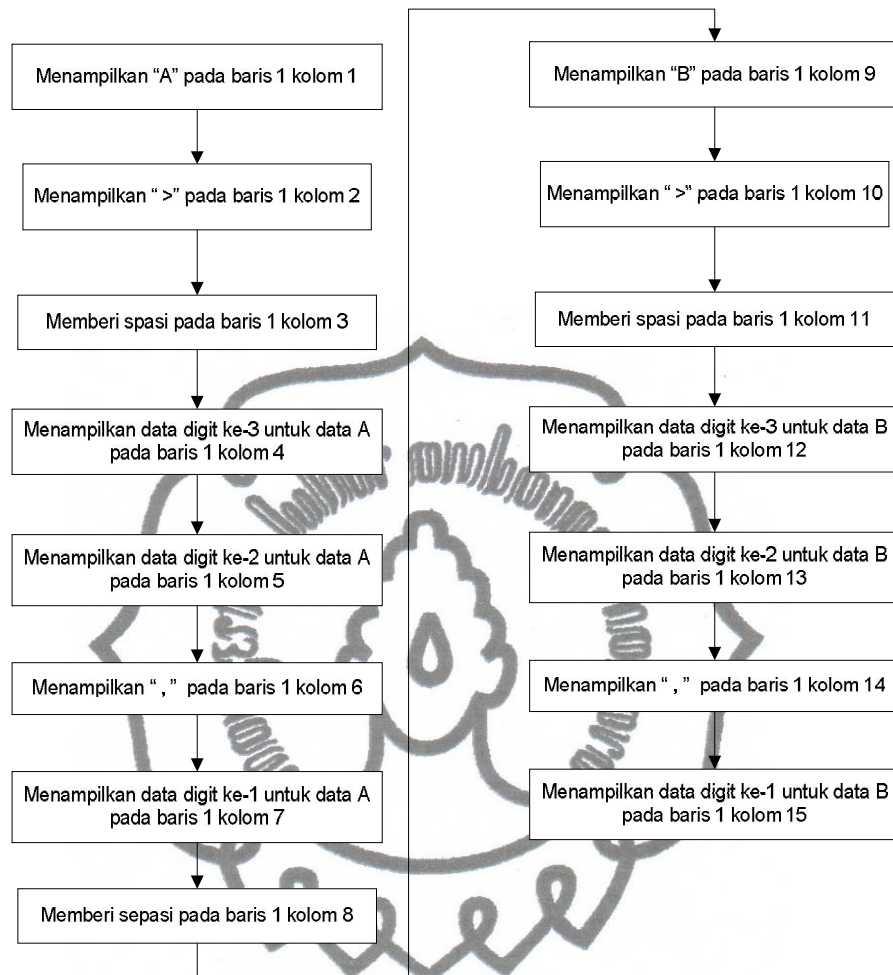
mov operand,DTLSB
mov operand+1,DTMSB
mov pembagi,DI_D0
mov pembagi+1,DI_D1
mov r0,#operand ;<<<=hilangkan utk pembagian&perkalian
mov r1,#pembagi ;<<<=hilangkan utk pembagian&perkalian
call penambahan
mov dtlsb,30h
mov dtmsb,31h
CALL CNV_HEX2DEC_12BIT

```

### C. Program Menampilkan Pembacaan Load Cell Secara Independent

Pembacaan *force platform* oleh *load cell* ditampilkan pada layar LCD sebelum data dikirim ke system data base komputer. Penampilan data pada layar LCD bertujuan mempermudah dalam pembacaan data hasil dari pengukuran. Penampilan pada layar LCD dapat dipilih apakah menampilkan secara *independent* atau total. Penampilkkan data secara *independent*, penampilkkan dibagi menjadi dua. Baris pertama pada layar LCD berisi data A (*load cell 1*) dan data B (*load cell ke 2*), sedangkan baris kedua pada layar LCD berisi data C (*load cell ke 3*) dan data D (*load cell ke 4*). Diagram alir untuk menampilkan data A dan B pada baris pertama pada layar LCD seperti pada gambar 4.26.

*commit to user*



**Gambar 4.26** Flowchart menampilkan data load cell ke1 dan load cell ke 2 pada layar LCD

Kode program untuk menampilkan data *load cell* ke 1 dan *load cell* ke 2 pada layar LCD, sebagai berikut:

```

; === DISPLAY LOADCELL A + B ===
; =====
disp1: mov buf1, #'A'      ;A
      mov buf1+1, #'>'    ;>
      mov buf1+2, #' '
; -----
      MOV A,D_A1
      mov b,#10
      DIV ab
      cjne a,#0, blnk_ra
      mov A, #' '
      JMP blnk_rXa        commit to user
blnk_ra:

```

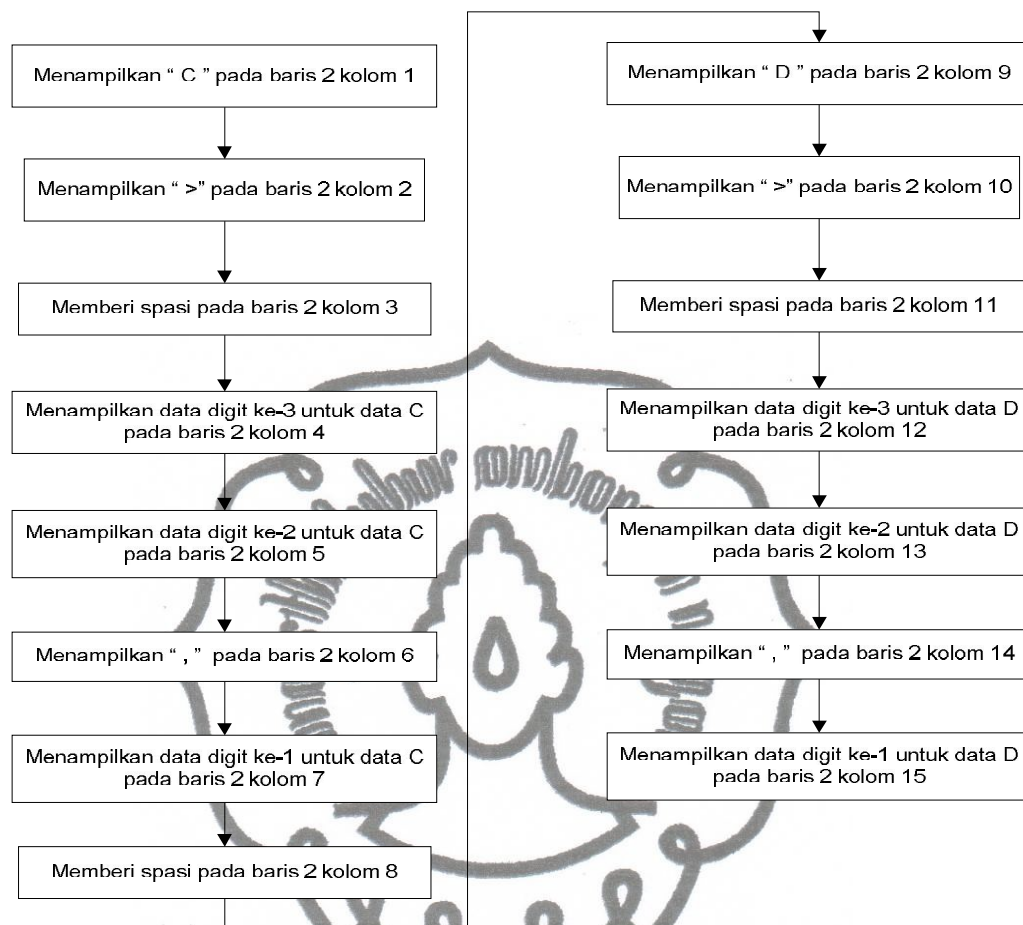


```

        ADD A,#30H
    blnk_rXa:
        mov buf1+3, A           ;data ratusan a
        MOV A,B
        ADD A,#30H
        mov buf1+4, A           ;data puluhan a
    ; -----
        mov buf1+5, #','
        MOV A,IN_SA
        ADD A,#30H
        mov buf1+6, A           ;data satuan a
        mov buf1+7, #' '       ;spasi
        mov buf1+8, #'B'       ;B
        mov buf1+9, #>'       ;>
        mov buf1+10, #' '      ; spasi
    ; -----
        MOV A,D_B1
        mov b,#10
        DIV ab
        cjne a,#0, blnk_rb
        mov A, #' '
        JMP blnk_rXb
    blnk_rb:
        ADD A,#30H
    blnk_rXb:
        mov buf1+11,A           ;data ratusan b
        MOV A,B
        ADD A,#30H
        mov buf1+12,A           ;data puluhan b
    ; -----
        mov buf1+13, #','
        MOV A,in_sb
        ADD A,#30H
        mov buf1+14,A           ;data satuan b
        mov buf1+15, #' '
        mov buf1+16, #13
        call line1
        mov r0, #buf1
        call ctkram4
        ret

```

Program di atas digunakan untuk menampilkan data *load cell* ke 1 dan *load cell* ke 2 pada layar LCD baris pertama, sedangkan untuk menampilkan data *load cell* ke 3 dan *load cell* ke 4 pada baris kedua digunakan *flowchart* pada gambar 4.27.



**Gambar 4.27 Flowchart menampilkan data load cell ke 3 dan load cell ke 4 pada layar LCD**

Kode program untuk menampilkan data *load cell* ke 3 dan *load cell* ke 4 pada layar LCD baris kedua, sebagai berikut:

```

; === DISPLAY LOADCELL C + D ===
; =====
disp2: mov buf2, #'C'      ;C
      mov buf2+1, #'>'    ;>
      mov buf2+2, #' '
; -----
      MOV A,D_C1
      mov b,#10
      DIV ab
      cjne a,#0, blnk_rc
      mov A, #' '
      JMP blnk_rXc
      blnk_rc:
      ADD A,#30H
  
```

*commit to user*

```

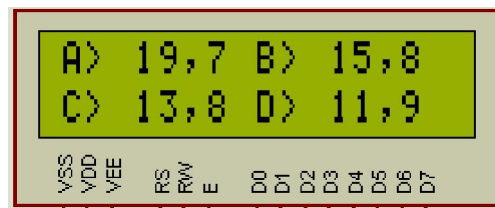
blnk_rXc:
    mov buf2+3, A          ;data ratusan c
    MOV A,B
    ADD A,#30H
    mov buf2+4, A          ;data puluhan c
; -----
    mov buf2+5, #','
    MOV A,IN_SC
    ADD A,#30H
    mov buf2+6, A          ;data satuan c
    mov buf2+7, #' '      ;spasi

    mov buf2+8, #'D'      ;D
    mov buf2+9, #'>'      ;>
    mov buf2+10, #' '
; -----
    MOV A,D_DI
    mov b,#10
    DIV ab
    cjne a,#0, blnk_rd
    mov A, #' '
    JMP blnk_rXd
blnk_rd:
    ADD A,#30H
blnk_rXd:
    mov buf2+11,A          ;data ratusan d
    MOV A,B
    ADD A,#30H
    mov buf2+12,A          ;data puluhan d
; -----
    mov buf2+13, #','
    MOV A,IN_SD
    ADD A,#30H
    mov buf2+14,A          ;data satuan d
    mov buf2+15, #' '
    mov buf2+16, #13
    call line2
    mov r0, #buf2
    call ctkram4
    ret

```

Tampilan pada layar LCD, jika program dijalankan pada proses pembacaan *load cell independent* seperti ditampilkan pada gambar 4.28.

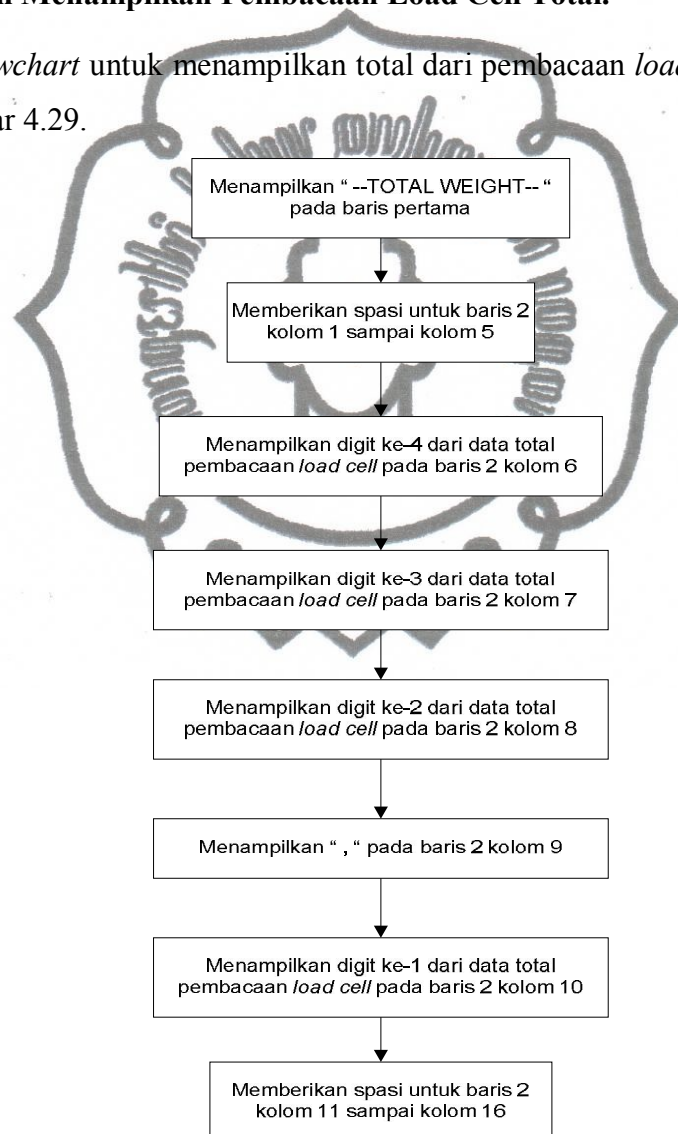
*commit to user*



**Gambar 4.28 Tampilan pada layar LCD untuk pembacaan load cell independent**

#### D. Program Menampilkan Pembacaan Load Cell Total.

Flowchart untuk menampilkan total dari pembacaan *load cell* ditampilkan pada gambar 4.29.



**Gambar 4.29 Flowchart menampilkan pembacaan load cell total**

```

; === DISPLAY LOAD CELL TOTAL (A + B + C + D) ===
; =====
disp_1:  mov buf1, #-,A
        mov buf1+1, #- '    ;>
  
```

```

    mov buf1+2, #'T'
    mov buf1+3, #'O'      ;dt ratusan a
    mov buf1+4, #'T'      ;dt puluhan a
    mov buf1+5, #'A'
    mov buf1+6, #'L'      ;dt satuan a
    mov buf1+7, #' '      ;spasi

    mov buf1+8, #'W'      ;B
    mov buf1+9, #'E'      ;>
    mov buf1+10, #'I'
    mov buf1+11, #'G'     ;dt ratusan b
    mov buf1+12, #'H'     ;dt puluhan b
    mov buf1+13, #'T'
    mov buf1+14, #'-'     ;dt satuan b
    mov buf1+15, #'-'
    mov buf1+16, #13

    call line1
    mov r0, #buf1
    call ctkram4

    call line2
    mov r0, #buf2
    call ctkram4
    ret

disp_2:  mov a,    DG4
        cjne a, #0, blnk_DG4
        mov DG4, #' '-30H

        mov a,    DG3
        cjne a, #0, blnk_DG4
        mov DG3, #' '-30H
blnk_DG4:

        mov buf2, #' '
        mov buf2+1, #' '
        mov buf2+2, #' '
        mov buf2+3, #' '
        mov buf2+4, #' '
; -----
        MOV A,DG4
        ADD A,#30H
        mov buf2+5, A
; -----
        MOV A,DG3      commit to user
        ADD A,#30H

```

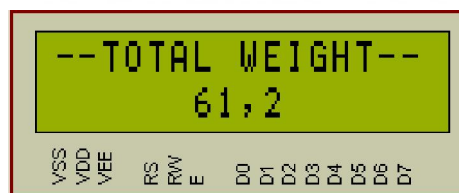
```

        mov buf2+6, A
; -----
        MOV A,DG2
        ADD A,#30H
        mov buf2+7, A
; -----
        mov buf2+8, #','
; -----
        MOV A,DG1
        ADD A,#30H
        mov buf2+9, A
; -----
        mov buf2+10, #' '
        mov buf2+11, #' '
        mov buf2+12, #' '
        mov buf2+13, #' '
        mov buf2+14, #' '
        mov buf2+15, #' '
        mov buf2+16, #13

;call line2
;mov r0,#buf2
;call ctkram4
ret

```

Tampilan pada layar LCD, jika program dijalankan pada proses pembacaan *load cell* total ditampilkan pada gambar 4.29.



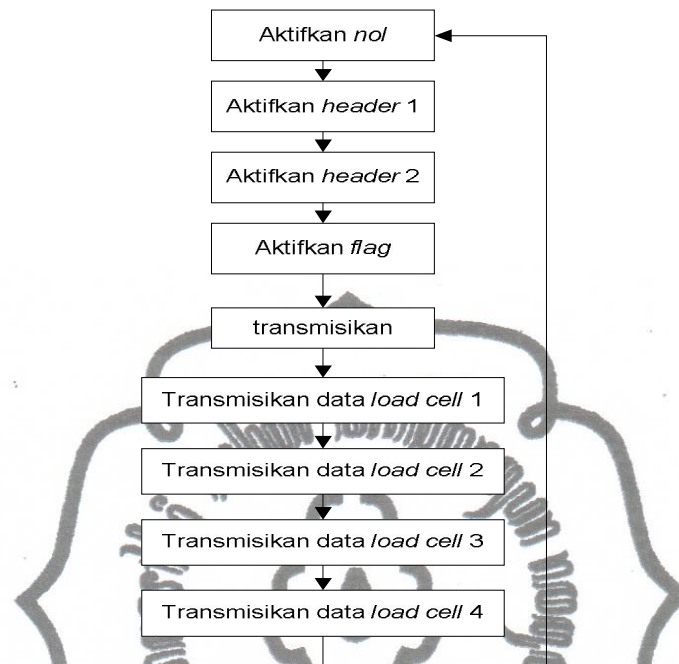
**Gambar 4.30 Tampilan pembacaan load cell total**

#### **E. Program Untuk Transmisi Data.**

Penggunaan TLP 434 dalam proses pengiriman data diperlukan data pembawa berupa yaitu nol, *header 1*, *header 2*, dan *flag*. Pada data pembawa, data yang dikirim dapat dikenali oleh sistem penerima. Jika, ada data masuk tanpa ada data pembawa berarti merupakan *noise* atau *error*. Data *noise* dan *error* ini secara otomatis tidak diterima oleh penerima (*receiver*). Data pembawa yang digunakan untuk membawa data, yaitu:



*Nol : 98h      Header : 16Ch      Header 2 : A7h      Flag : 53h*



**Gambar 4.31 Flowchart transmisi data**

Kode program untuk menstransimisikan data, sebagai berikut:

```

TX_TLP:
    mov a,#NOL
    CALL TRANSMIT
    mov a,#head1
    CALL TRANSMIT
    mov a,#head2
    CALL TRANSMIT
    mov a,#flag
    CALL TRANSMIT
;-----
    mov a,D_a1
    CALL TRANSMIT
    mov a,in_sa
    CALL TRANSMIT
;-----
    mov a,D_b1
    CALL TRANSMIT
    mov a,in_sb
    CALL TRANSMIT
;-----
    mov a,D_c1
    CALL TRANSMIT
    mov a,in_sc
  
```

*commit to user*

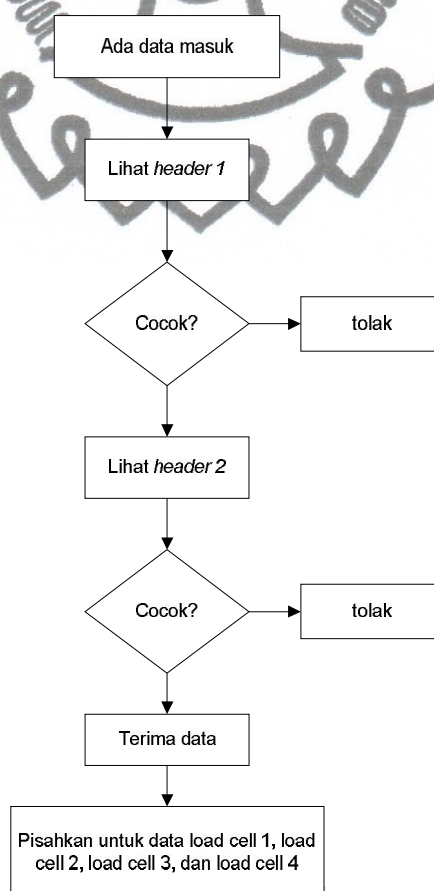
```

CALL TRANSMIT
;-----
mov a,D_d1
CALL TRANSMIT
mov a,in_sd
CALL TRANSMIT
;-----
RET
transmit:
CLR    TI
MOV    SBUF,A
JNB    TI,$
CLR    TI
Ret

```

#### F. Program Penerimaan Data Dari Transmitter

*Header* berfungsi sebagai penanda dari data yang dikirim berupa data numeric dan sudah memenuhi persyaratan. Jika, terdapat data yang masuk tanpa *header*, maka data ini langsung ditolak, seperti ditampilkan pada gambar 4.32.



**Gambar 4.32 Flowchart penerimaan data dari transmitter**

Kode program untuk penerimaan data dari *transmitter*, sebagai berikut:

```

;----- SUB RUTIN PENERIMAAN DATA DARI TLP 434 -----
;-----2400 Baud (THIS WORKS @ 11.0592MHZ)
receive:
das:  jb    f_0,asd
      djnz  r3,asd
      mov   r3,#bittim
      clr   f_0
      jmp   exit_receive
asd:  JB     SerRX,das    ;exit_receive ;Wait for start bit
      setb  f_0
      MOV   R0,#BITTIM/2;Wait 1/2 bit-time
      DJNZ  R0,$         ;To sample in middle
      JB    SerRX,receive;Insure valid
      MOV   R1,#8        ;Read 8 bits
receive1:
      MOV   R0,#BITTIM   ;Wait full bit-time
      DJNZ  R0,$         ;For DATA bit
      MOV   C,SerRX      ;Read bit
      RRC   A            ;Shift it into ACC
      DJNZ  R1,receive1  ;read 8 bits
      CLR   C            ;
exit_receive:
      RET                ;go home
;-----

take_data:
      call receive
      cjne a,#hdr0,exit_take
      mov B1,a

      call receive
      cjne a,#hdr1,exit_take
      mov B2,a

      call receive
      cjne a,#hdr2,exit_take
      mov B3,a

      call receive
      mov CKSUM,a

      clr a
      xrl a,B1
      xrl a,B2
      xrl a,B3

```

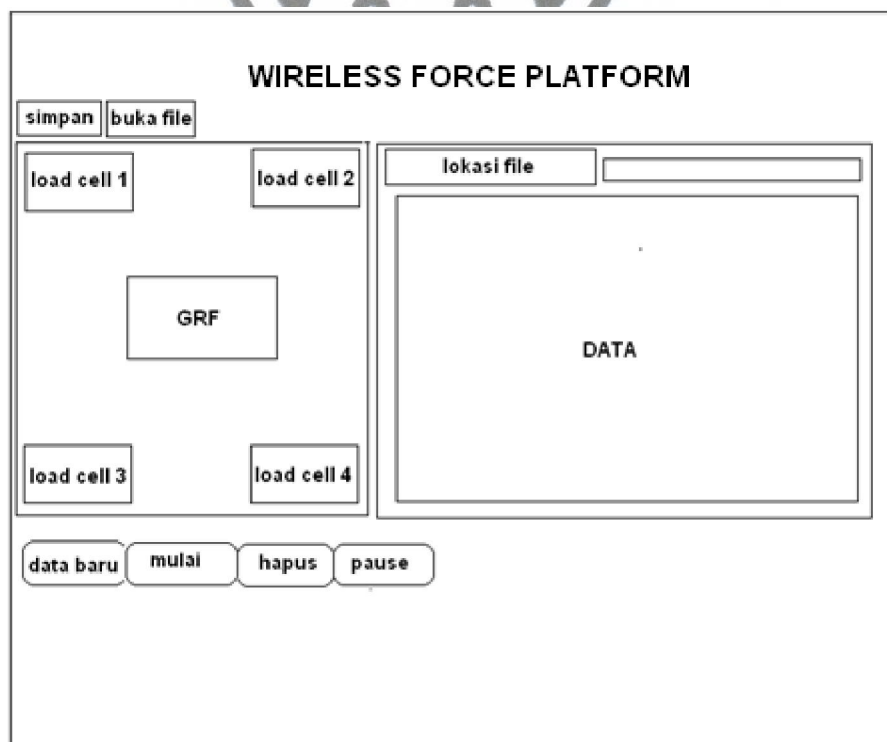
*commit to user*

```
cjne a,CKSUM,exit_take
```

```
call receive
mov d_a1,a
call receive
mov in_sa,a
call receive
mov d_b1,a
call receive
mov in_sb,a
call receive
mov d_c1,a
call receive
mov in_sc,a
call receive
mov d_d1,a
call receive
mov in_sd,a
```

#### 4.2.4 Tampilan Pada Sistem Data Base Komputer

Tampilan pada display komputer dibuat agar memudahkan dalam pengamatan data pada saat menggunakan *force platform*. Desain tampilan pada layar komputer seperti ditampilkan pada gambar 4.33.



Gambar 4.33 Desain tampilan pada display layar komputer

Tampilan didesain sederhana, agar memudahkan dalam pembacaan data hasil pengukuran. Data yang ditampilkan berupa data dari setiap *load cell* yang meliputi *load cell* ke 1, *load cell* ke 2, *load cell* ke 3, dan *load cell* ke 4, dan total dari keempat *load cell*. Total dari pembacaan keempat *load cell* merupakan besarnya gaya reaksi tanah (GRF) yang terbaca pada *force platform*. Keterangan dari rancangan tampilan pada gambar 4.33, yaitu:

1. Tombol “**simpan**” digunakan untuk menyimpan data hasil pengukuran. Kode program untuk menjalankan fungsi tombol ini, sebagai berikut:

```
Private Sub mnusaveas_WFFF_Click()
Call cmdsaveas_wfff_Click
End Sub
```

2. Tombol “**buka file**” digunakan untuk membuka *file* hasil pengukuran yang telah disimpan. Kode program untuk menjalankan fungsi tombol ini, sebagai berikut:

```
Private Sub mnuopenfile_WFFF_Click()
Call cmdopenfile_wfff_Click
End Sub
```

3. Tombol “**data baru**” digunakan untuk melakukan pengukuran baru. Jika tombol ini ditekan, layar akan direfresh sebagai persiapan untuk pengambilan data baru. Kode program untuk menjalankan fungsi tombol ini, sebagai berikut:

```
Private Sub cmdrefresh_WFFF_Click()
txtstatus.Text = "NEW RECORD"
C = 0
untuk_refresh
End Sub
```

4. Tombol “**mulai**” digunakan untuk memulai melakukan pengambilan data baru. Kode program untuk menjalankan fungsi tombol ini, sebagai berikut:

```
Private Sub cmdstart_WFFF_Click()
'On Error Resume Next
RECORD = 0 "AKTIF"
txtstatus.Text = "RECORD"
'If MSComm1.PortOpen = True Then
' MSComm1.PortOpen = False
'End If
commit to user
```

```

'MSComm1.Settings = "4800,N,8,1"
'MSComm1.PortOpen = True
' MSComm1.Output = Chr$(255) 'Hex$(255)
'===== ganti baudrate =====
' MSComm1.PortOpen = False
' MSComm1.Settings = "9600,N,8,1"
' MSComm1.PortOpen = True
End Sub

```

5. Tombol “**hapus**” digunakan untuk menghapus data hasil pengukuran. Kode program untuk menjalankan fungsi tombol ini, sebagai berikut:

```

Private Sub cmdclear_WFFF_Click()
DoEvents
Dim peringatan As String
peringatan = MsgBox("Yakin Hapus Data", vbQuestion + vbYesNo,
"Information")
If peringatan = vbYes Then
GoTo Hapus
Else
Exit Sub
End If

```

```

Hapus:
'On Error GoTo pesan_clear
cmdclear_WFFF.Enabled = False
cmdstart_WFFF.Enabled = False
cmdpause_WFFF.Enabled = False
cmdrefresh_WFFF.Enabled = False
RECORD = 2
txtstatus.Text = "HAPUS DATA"
If DataWFFF.Recordset.RecordCount = 0 Then
GoTo pesan_clear
Else
DataWFFF.Recordset.MoveFirst
End If
Do
DoEvents
On Error GoTo pesan_clear
If DataWFFF.Recordset.EOF = True Then
DataWFFF.Recordset.MoveFirst
Continue To user
Else

```



```

DataWFFF.Recordset.Delete
Call Sleep(20)
DataWFFF.Refresh
DBGrid1.Refresh
Frame2.Refresh
'Refresh
DataWFFF.Recordset.MoveNext
End If
Loop Until DataWFFF.Recordset.RecordCount = 0 '23
pesan_clear:
MsgBox "Data sudah kosong", vbInformation, "Informasi"
'cmdclear.Caption = "Hapus Data"
cmdclear_WFFF.Enabled = True
cmdstart_WFFF.Enabled = True
cmdpause_WFFF.Enabled = True
cmdrefresh_WFFF.Enabled = True
Exit Sub
pesan_batalkan:
MsgBox "Data dibatalkan", vbInformation, "Information"
End Sub

```

6. Tombol “**pause**” digunakan untuk menghentikan proses pengambilan data. Kode program untuk menjalankan fungsi tombol ini, sebagai berikut:

```

Private Sub cmdpause_WFFF_Click()
RECORD = 1 ""TIDAK_AKTIF"
txtstatus.Text = "PAUSE"
End Sub

```

7. “**Lokasi file**” merupakan tempat dimana *file* akan disimpan.
8. “**Load cell ke 1**”, “**load cell ke 2**”, “**load cell ke 3**”, dan “**load cell ke 4**” merupakan nilai yang tertampil pada saat pengukuran disetiap *load cell*.
9. “**GRF**”, merupakan gaya reaksi ke atas yang didapat dari total pembacaan *load cell ke 1*, *load cell ke 2*, *load ke 3*, dan *load cell ke 4*.

#### 4.2.5 Kalibrasi Pada Beban Load cell

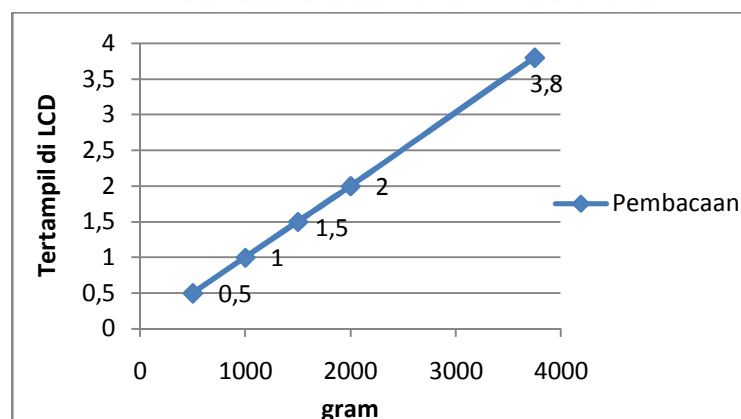
Tujuan dari kalibrasi adalah mengatur keluaran dari pembacaan pada *load cell*. Kalibrasi dilakukan dengan cara memberikan beban pada *load cell* menggunakan anak timbangan. Pada saat *load cell* dalam keadaan terbebani, maka dapat dilihat pada layar LCD berupa nilai hasil dari pembacaan.



**Gambar 4.34 Proses kalibrasi load cell**

Jika, nilai pembacaan menunjukkan hasil yang berbeda dengan besarnya beban, maka *trimpot* pada rangkaian pengkondisian sinyal diputar untuk menyesuaikan tegangan referensinya. Keempat *load cell* masing-masing mempunyai karakteristik yang berbeda, sehingga tegangan referensi yang diperlukan untuk setiap *load cell* dalam pembacaan *force platform* sebanding dengan perbedaan beban yang diberikan.

Beban diberikan secara bertahap dari 5gram, 1 gram, 1,5 gram, 2 gram , dan 3,75 gram. Dari gambar 4.35, terlihat bahwa hasil pembacaan *load cell* linear terhadap perubahan beban yang diberikan.



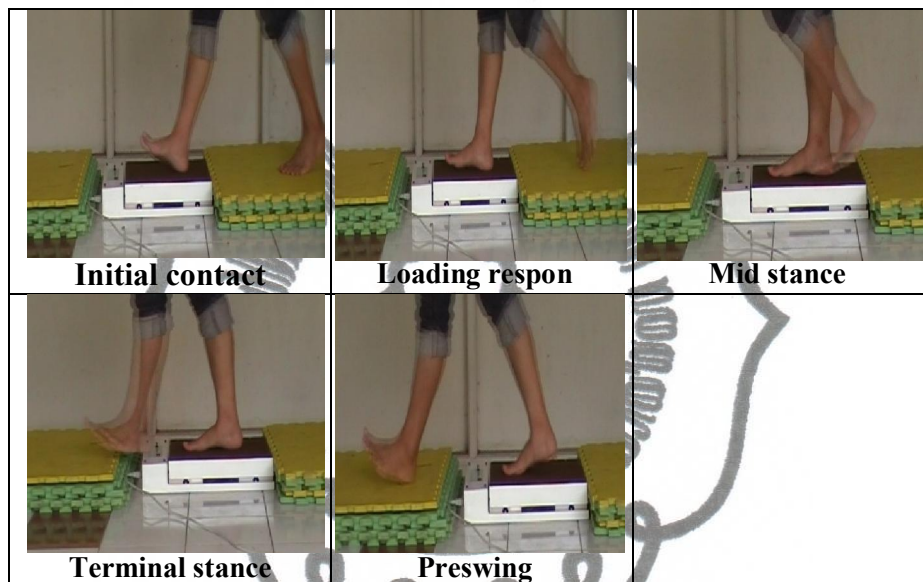
**Gambar 4.35 Grafik linearitas hasil pembacaan load cell**

#### 4.2.6 Validasi Pembacaan Force Platform

*Force platform* hasil rancangan, kemudian dicoba untuk *sampling* data *ground reaction force* selama berjalan dan *center of pressure* selama berdiri.

### 1. Validasi Sampling Data *Ground reaction Force*

Validasi dilakukan dengan cara melakukan *sampling* data untuk objek yang berjalan pada *force platform*. Pengukuran *ground reaction force* dilakukan pada tiga objek yang memiliki umur yang sama dengan berat yang berbeda. Objek A memiliki berat 51 Kg, objek B memiliki berat 62 Kg, dan objek C memiliki berat 77 Kg.



**Gambar 4.36** Pengukuran *ground reaction force* untuk objek berjalan pada *force platform*

Hasil pengukuran dieksport ke *Microsoft excell* untuk dihitung besarnya *ground reaction force* dan dibuat grafik. Grafik tersebut kemudian dibandingkan dengan grafik hasil pengukuran dengan *force platform* komersial. Jika grafik hasil pembacaan menggunakan *force platform* rancangan mendekati sama dengan grafik pembacaan *force platform* komersial, maka *force platform* rancangan memiliki pembacaan data yang baik.

Pengukuran dilakukan sebanyak 30 kali percobaan untuk setiap objek, dimaksudkan untuk mengetahui keterulangan dari hasil pembacaan *force platform*. Objek A (51 kg) mewakili untuk pengukuran objek dengan massa ringan, objek B (62 kg) mewakili pengukuran objek dengan massa sedang, dan objek C (77 kg) mewakili pengukuran objek dengan massa berat.

**Tabel 4.3 Data pengukuran ground reaction force kaki kanan (a) objek A, (b) objek B, dan (c) objek C**

A	B	C	D	GRF
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
6,8	5,9	8,1	11,4	32,2
9	7,4	17,6	16,1	50,1
8,5	8,3	13,9	14,5	45,2
11,6	12,2	11,1	12,2	47,1
15,5	16,8	8,6	10,9	51,8
8,4	11,2	4,4	6,1	30,1
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

(a)

A	B	C	D	GRF
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
3,9	2	8,5	10,5	24,9
12,6	8,2	19,6	21,5	61,9
13,8	8,3	16,2	17,5	55,8
17,6	12,8	11,6	16	58
21,6	16,1	9,7	15,4	62,8
13,4	7,7	2,3	3,8	27,2
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

(b)

A	B	C	D	GRF
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
5,7	7,2	12,2	10,6	35,7
13,1	11,1	22,5	26,9	73,6
14,2	6,8	22,3	20,6	63,9
18,4	12,5	15,1	19,7	65,7
25,9	21,3	12,6	18	77,8
14,3	10,3	7,2	6,2	38
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

(c)

Pengukuran *ground reaction* juga diuji coba untuk pengukuran dengan kaki tumpuan sebelah kiri. Tabel 4.3 merupakan salah satu hasil pengukuran *ground reaction force* untuk kaki kanan (keseluruhan hasil pengukuran dapat dilihat pada lampiran L1), dan tabel 4.4 untuk pengukuran kaki kiri sebagai tumpuan.

**Tabel 4.4 Data pengukuran ground reaction force kaki kiri (a) objek A, (b) objek B, dan (c) objek C**

A	B	C	D	GRF
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
5,7	3,6	8,8	10,3	28,4
9,5	7,1	17,8	15,8	50,2
9,3	8,6	12,8	14,7	45,4
11,3	12,1	12,1	11,4	46,9
16,8	14,7	9,6	10,7	51,8
12,4	10,2	4,1	6	32,7
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

(a)

A	B	C	D	GRF
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
4,3	2,5	10,6	8,6	26
12,2	8,6	19,2	20,8	60,8
13,6	8,3	16,2	17,2	55,3
16,6	13,8	11,8	15,3	57,5
21,7	18,2	10,5	12,2	62,6
13,4	7,7	2,7	4,4	28,2
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

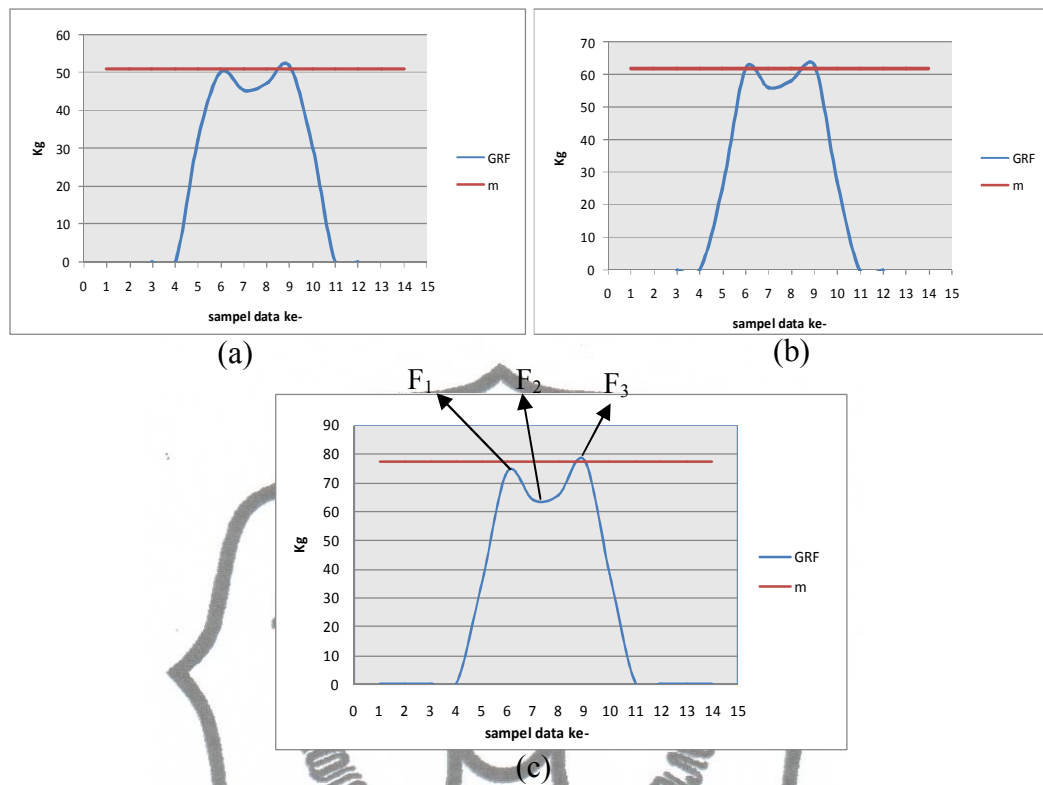
(b)

A	B	C	D	GRF
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
8,7	6,4	12,6	9,5	37,2
13,7	12,1	22,8	26,5	75,1
12,8	8,8	22,2	20,3	64,1
18,4	13,5	15,6	18,6	66,1
25,5	22,4	12,3	17,6	77,8
14,7	11,1	7,5	6,3	39,6
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

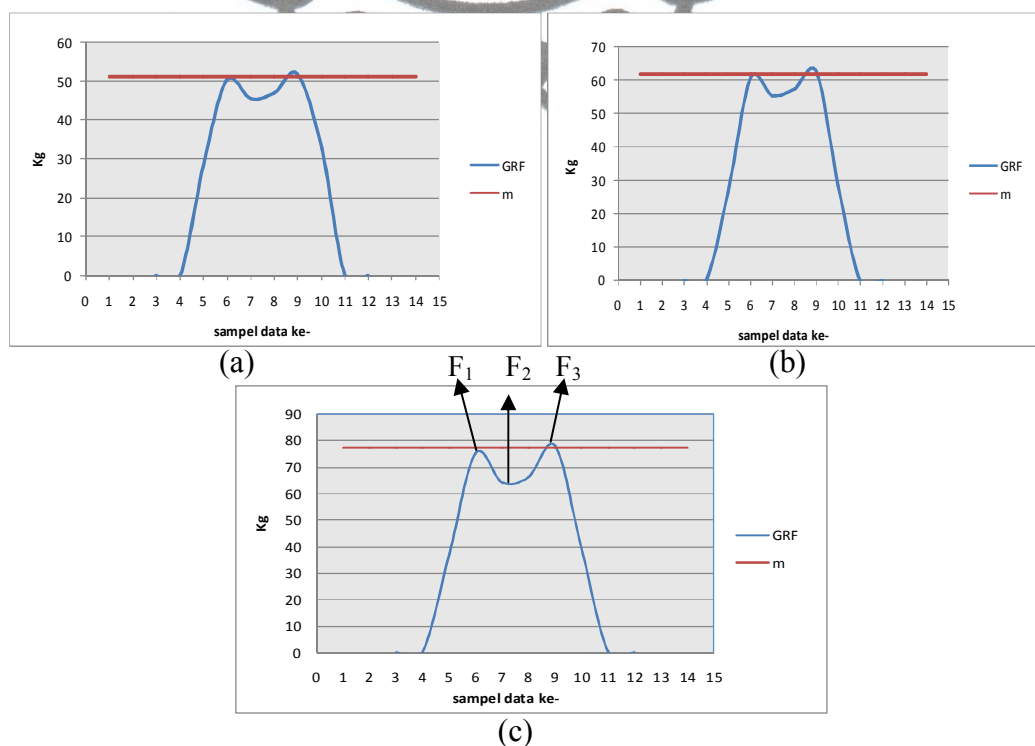
(c)

Data hasil pembacaan *ground reaction* tersebut kemudian dibuat grafik dengan bantuan *microsoft excell* untuk mengetahui pola grafik *ground reaction force* untuk orang normal.

*commit to user*



**Gambar 4.37** Grafik ground reaction force kaki kanan (a) objek A, (b) objek B, dan (c) objek C



**Gambar 4.38** Grafik ground reaction force kaki kiri (a) objek A, (b) objek B, dan (c) objek C

Grafik *ground reaction force* untuk objek yang berjalan pada *force platform* ditunjukkan pada gambar 4.37 dan gambar 4.38. Pada grafik tersebut, sampel data diukur dengan satuan kilogram. *Ground reaction force* digambarkan dalam bentuk grafik sesuai urutan *sampling* data. Selama objek berjalan pada *force platform*, menghasilkan grafik yang membentuk dua puncak ( $F_1$  dan  $F_3$ ) yang dipisahkan oleh satu lembah ( $F_2$ ). Hasil pengukuran 30 kali pengambilan data untuk tiap objek dihitung *coefficient of variation* (CV) yang ditampilkan pada tabel 4.5 dan tabel 4.6. Perhitungan *coefficient of variation* (CV) bertujuan untuk mengetahui keterulangan (*repeatability*) hasil pengukuran. Besarnya CV maksimal yang diterima untuk data biomekanika yaitu sebesar 10% (winter,1991 dalam Aggeloussis,2007).

**Tabel 4.5 Hasil perhitungan coefficient of variation kaki kanan**

	Objek B			Objek C		
	Mean	SD	CV (%)	Mean	SD	CV (%)
F1	50,167	0,333	0,663	60,76	0,366	0,603
F2	46,213	0,328	0,709	55,717	0,296	0,531
F3	51,877	0,208	0,401	62,867	0,284	0,452

**Tabel 4.6 Hasil perhitungan coefficient of variation kaki kiri**

	Objek A			Objek B			Objek C		
	Mean	SD	CV (%)	Mean	SD	CV (%)	Mean	SD	CV (%)
F1	50,147	0,293	0,585	60,64	0,373	0,615	74,757	0,327	0,437
F2	46,240	0,340	0,735	55,527	0,375	0,675	64,410	0,386	0,600
F3	51,837	0,216	0,416	62,880	0,247	0,393	77,877	0,258	0,332

## 2. Validasi Pengukuran *center of pressure* (COP)

Validasi dilakukan dengan cara melakukan *sampling* data untuk objek yang berdiri di atas *force platform* selama lima belas detik pada empat posisi yang berbeda. Keempat posisi pengukuran yang dilakukan yaitu untuk objek yang berdiri di atas *force platform* di kuadran I, kuadran II, kuadran III, dan kuadran IV. Sampel data yang terekam kemudian dieksport ke *microsoft excell* untuk dihitung COP dan dibuat grafik posisi COP (disebut juga *posturogram*) . Objek



berdiri pada *force platform* selama lima belas detik menghasilkan pembacaan sampel data yang ditampilkan pada tabel 4.7.

**Tabel 4.7 Sampel data center of pressure untuk objek berdiri**

A	B	C	D	x	y	R	A	B	C	D	x	y	R
21,1	28,6	3,3	11,4	-12,50	4,84	0,395	21,4	28,3	3,4	11,5	-12,39	4,64	0,363
21,1	28,5	3,3	11,6	-12,37	4,87	0,268	21,3	28,3	3,4	11,6	-12,32	4,71	0,268
21,1	28,5	3,3	11,6	-12,37	4,87	0,268	21,1	28,3	3,4	11,6	-12,29	4,78	0,200
21,3	28,4	3,3	11,6	-12,39	4,77	0,302	21,1	28,6	3,3	11,5	-12,44	4,87	0,340
21,3	28,1	3,5	11,6	-12,23	4,62	0,278	20,8	28,7	3,3	11,7	-12,30	5,05	0,271
21,5	27,9	3,6	11,8	-12,07	4,51	0,364	20,5	28,9	3,3	11,8	-12,23	5,24	0,393
21,4	27,9	3,6	11,7	-12,11	4,52	0,348	20,2	29	3,2	12	-12,14	5,47	0,599
21,4	28,3	3,4	11,3	-12,50	4,60	0,479	20,3	29,1	3,2	11,9	-12,23	5,43	0,572
21,5	28,7	3,2	11,2	-12,75	4,71	0,661	20,2	29,1	3,2	12	-12,16	5,49	0,623
21,6	28,5	3,3	11,1	-12,73	4,56	0,698	20,3	29	3,3	12,1	-12,05	5,41	0,544
21,6	28,5	3,3	11,1	-12,73	4,56	0,698	20,2	29,2	3,2	11,8	-12,29	5,47	0,624
21,7	28,3	3,4	11,2	-12,60	4,46	0,645	20,6	28,9	3,3	11,7	-12,30	5,18	0,367
21,7	28,3	3,4	11,2	-12,60	4,46	0,645	20,8	28,3	3,4	11,8	-12,13	4,95	0,080
21,9	28	3,4	11,3	-12,53	4,33	0,684	21	28,2	3,4	11,9	-12,09	4,87	0,017
21,7	28,1	3,5	11,3	-12,46	4,40	0,591	20,8	28	3,5	12,1	-11,86	4,91	0,251
21,6	28,4	3,4	11,3	-12,55	4,54	0,549	21,1	27,3	3,8	12,4	-11,46	4,58	0,702
21,4	28,4	3,4	11,4	-12,46	4,64	0,421	20,7	27,8	3,6	12,4	-11,59	4,93	0,520
21,4	28,4	3,4	11,4	-12,46	4,64	0,421	20,3	28,5	3,4	12,1	-11,91	5,26	0,434
21,2	28,6	3,3	11,5	-12,46	4,83	0,358	20,2	28,8	3,3	12,2	-11,95	5,43	0,580
20,9	28,6	3,4	11,6	-12,30	4,93	0,207	20,2	28,8	3,3	12,2	-11,95	5,43	0,580
20,9	28,6	3,4	11,6	-12,30	4,93	0,207	20,4	29,3	3,1	11,8	-12,39	5,45	0,647
20,7	28,8	3,3	11,6	-12,36	5,09	0,338	20,8	29,1	3,2	11,3	-12,64	5,09	0,583
20,8	28,9	3,3	11,6	-12,39	5,08	0,353	20,6	29,4	3,1	11,4	-12,66	5,30	0,704
20,5	29	3,2	11,7	-12,36	5,28	0,482	20,7	29,1	3,2	11,5	-12,52	5,18	0,515
20,5	29	3,2	11,7	-12,36	5,28	0,482	21,3	28,6	3,3	11,3	-12,59	4,74	0,498
20,5	28,9	3,3	11,7	-12,29	5,22	0,393	21,6	28,1	3,4	11,3	-12,50	4,47	0,559
20,6	28,7	3,3	11,7	-12,27	5,13	0,311	21,7	28	3,4	11,4	-12,44	4,43	0,551
20,8	28,7	3,4	11,7	-12,25	5,02	0,205	21,9	27,6	3,5	11,5	-12,30	4,25	0,651
20,9	28,7	3,4	11,8	-12,21	5,00	0,168	21,9	27,6	3,5	11,5	-12,30	4,25	0,651
20,9	28,1	3,6	11,9	-11,95	4,81	0,171	21,8	28	3,4	11,4	-12,46	4,40	0,591
20,9	28,1	3,6	11,9	-11,95	4,81	0,171	21,5	28,2	3,3	11,5	-12,44	4,62	0,421
21,1	28	3,5	11,9	-12,02	4,74	0,152	21,5	28,2	3,3	11,5	-12,44	4,62	0,421
21,2	28	3,6	11,8	-12,03	4,64	0,235	21,2	28,4	3,3	11,5	-12,43	4,78	0,334
21,4	27,7	3,6	11,8	-12,02	4,50	0,382	20,8	28,7	3,2	11,8	-12,30	5,12	0,317
21,5	27,9	3,5	11,5	-12,29	4,47	0,435	20,5	29,1	3,2	11,6	-12,43	5,28	0,523
21,4	28,3	3,3	11,4	-12,50	4,66	0,447	20,4	29,5	3,1	11,6	-12,53	5,45	0,721
21,4	28,3	3,3	11,4	-12,50	4,66	0,447	20,3	29,3	3,2	11,8	-12,32	5,45	0,619
21,6	27,9	3,5	11,6	-12,25	4,46	0,434	20	28,9	3,3	11,9	-12,09	5,46	0,592
21,5	27,8	3,5	11,5	-12,27	4,45	0,451	20,3	28,6	3,4	12,1	-11,93	5,28	0,448
21,5	27,8	3,5	11,7	-12,16	4,50	0,376	20,5	28,1	3,5	12,4	-11,66	5,12	0,509
21,5	27,6	3,7	11,8	-11,96	4,40	0,493	20,8	28,5	3,4	11,9	-12,11	5,02	0,147
21,5	27,7	3,6	11,9	-11,98	4,48	0,406	20,9	28,1	3,4	11,9	-12,05	4,88	0,053
21,2	27,8	3,6	11,8	-12,00	4,60	0,292	20,9	28,1	3,4	11,9	-12,05	4,88	0,053
21,2	27,9	3,5	11,8	-12,07	4,66	0,213	20,5	28,4	3,4	12,3	-11,82	5,20	0,438
21,2	27,8	3,6	11,8	-12,00	4,60	0,292	20,4	28,4	3,5	12,2	-11,80	5,18	0,433
21,5	28	3,4	11,5	-12,36	4,53	0,418	20,2	28,7	3,3	12,2	-11,93	5,40	0,564
21,6	28,1	3,5	11,4	-12,39	4,46	0,499	20,1	28,6	3,4	12,2	-11,84	5,38	0,577
21,6	28,2	3,4	11,4	-12,46	4,52	0,498	20,3	28,5	3,4	12,2	-11,86	5,28	0,480
21,4	28,3	3,4	11,4	-12,44	4,62	0,421	20,5	28,3	3,5	12,2	-11,80	5,12	0,391
21,4	28,5	3,4	11,5	-12,42	4,69	0,364	20,7	28,3	3,4	12	-12,00	5,03	0,194

Contoh perhitungan:

Posisi  $x$

$$x = \frac{(\text{load cell 3} + \text{load cell 4} - \text{load cell 1} - \text{load cell 2}) * \text{panjang}}{(\text{load cell 1} + \text{load cell 2} + \text{load cell 3} + \text{load cell 4}) * 2}$$

$$x = \frac{(C + D - A - B) * 46}{(A + B + C + D) * 2}$$

$$x = \frac{(3,3 + 11,4 - 21,1 - 28,6)46}{(21,1 + 28,6 + 3,3 + 11,4)2}$$

$$x = -12,50$$

Posisi y

$$y = \frac{(\text{load cell 2} + \text{load cell 4} - \text{load cell 1} - \text{load cell 3}) * \text{lebar}}{(\text{load cell 1} + \text{load cell 2} + \text{load cell 3} + \text{load cell 4}) * 2}$$

$$y = \frac{(B + D - A - C) * 40}{(A + B + C + D) * 2}$$

$$y = \frac{(28,6 + 11,4 - 21,1 - 3,3) * 40}{(21,1 + 28,6 + 3,3 + 11,4) * 2}$$

$$y = 4,84$$

Data pada tabel 4.7 merupakan hasil pengukuran untuk objek yang berdiri di atas *force platform* pada kuadran II. Data pengukuran untuk kuadran I, kuadran III, dan kuadran IV dapat dilihat di lampiran L2. Grafik posisi COP untuk masing-masing pengujian ditampilkan pada gambar 4.39.



**Gambar 4.39** Center of pressure selama berdiri (dalam cm)

Data hasil pengukuran COP objek berdiri di atas *force platform* kemudian dicari titik pusat ( $X_{centroid}$ ,  $Y_{centroid}$ ) dari sebaran posisi *center of pressure*. Panjang  $X_{centroid} = \frac{1}{2} (X_{mak} - X_{min})$ , dari data untuk kuadran II (tabel 4.7) didapat panjang  $X_{centroid} = \frac{1}{2} (-11,46 - (-12,75)) = 0,641$ . Panjang  $Y_{centroid} = \frac{1}{2} (Y_{max} - Y_{min}) = \frac{1}{2} (5,49 - 4,25) = 0,620$ . Setelah didapat panjang  $X_{centroid}$  dan  $Y_{centroid}$ , posisi  $X_{centroid} = X_{mak} - \text{panjang } X_{centroid} = -11,46 - 0,641 = -12,11$ ; sedangkan posisi  $Y_{centroid} = Y_{max} - \text{panjang } Y_{centroid} = 5,49 - 0,62 = 4,87$ . Pada gambar 4.39, posisi  $X_{centroid}$  dan  $Y_{centroid}$  untuk kuadran II ditunjukkan oleh titik merah di dalam lingkaran.

Pergeseran setiap titik COP dihitung jaraknya terhadap  $X_{centroid}$ ,  $Y_{centroid}$  yang pada tabel 4.7 diwakili oleh  $R$ . Contoh hitungan untuk  $R$  pada data pertama yaitu

$$R_1 = \sqrt{(X_{centroid} - x_1)^2 + (Y_{centroid} - y_1)^2}$$

$$= \sqrt{(-12,11 - (-12,5))^2 + (4,87 - 4,84)^2} = 0,395.$$

Nilai  $R$  tersebut diuji apakah berdistribusi normal untuk pembacaan di setiap kuadran. Jika pengukuran COP di setiap kuadran menghasilkan  $R$  yang berdistribusi normal, maka *force platform* mempunyai karakteristik pembacaan yang sama di setiap kuadrannya. Untuk mempermudah, pengujian dibantu dengan software SPSS, hasil dari pengujian distribusi  $R$  untuk masing-masing kuadran ditampilkan pada tabel 4.8.

**Tabel 4.8 Output SPSS uji normalitas nilai R tiap kuadran**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>		
	Statistic	df	Sig.
Kuad_1	,059	100	,200*
kuad_2	,054	100	,200*
Kuad_3	,062	100	,200*
Kuad_4	,057	100	,200*

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Hasil pengujian didapatkan nilai probabilitas (sig) = 0,200, nilai tersebut lebih besar dari nilai  $\alpha$  (0,05) yang artinya pengukuran COP untuk tiap kuadran menghasilkan data dengan distribusi normal. Pergeseran COP terhadap titik pusat COP ( $R$ ) untuk masing-masing kuadran dibuat distribusi frekuensi yang kemudian dibuat grafik batang. Tujuan dibuatnya grafik distribusi frekuensi untuk mengetahui bentuk kurva normal nilai  $R$  untuk tiap kuadran.

**Tabel 4.9 Distribusi frekuensi nilai R untuk tiap kuadran**

interval		batas kelas		nilai tengah	frekuensi
0,017	0,105	0,0165	0,1055	0,061	4
0,106	0,194	0,1055	0,1945	0,15	6
0,195	0,283	0,1945	0,2835	0,239	12
0,284	0,372	0,2835	0,3725	0,328	15
0,373	0,461	0,3725	0,4615	0,417	22
0,462	0,550	0,4615	0,5505	0,506	14
0,551	0,639	0,5505	0,6395	0,595	15
0,640	0,728	0,6395	0,7285	0,684	12

kuadran II

interval		batas kelas		nilai tengah	frekuensi
0,138	0,260	0,1375	0,2605	0,199	6
0,261	0,383	0,2605	0,3835	0,322	6
0,384	0,506	0,3835	0,5065	0,445	22
0,507	0,629	0,5065	0,6295	0,568	19
0,630	0,752	0,6295	0,7525	0,691	24
0,753	0,875	0,7525	0,8755	0,814	12
0,876	0,998	0,8755	0,9985	0,937	6
0,999	1,121	0,9985	1,1215	1,06	5

kuadran I

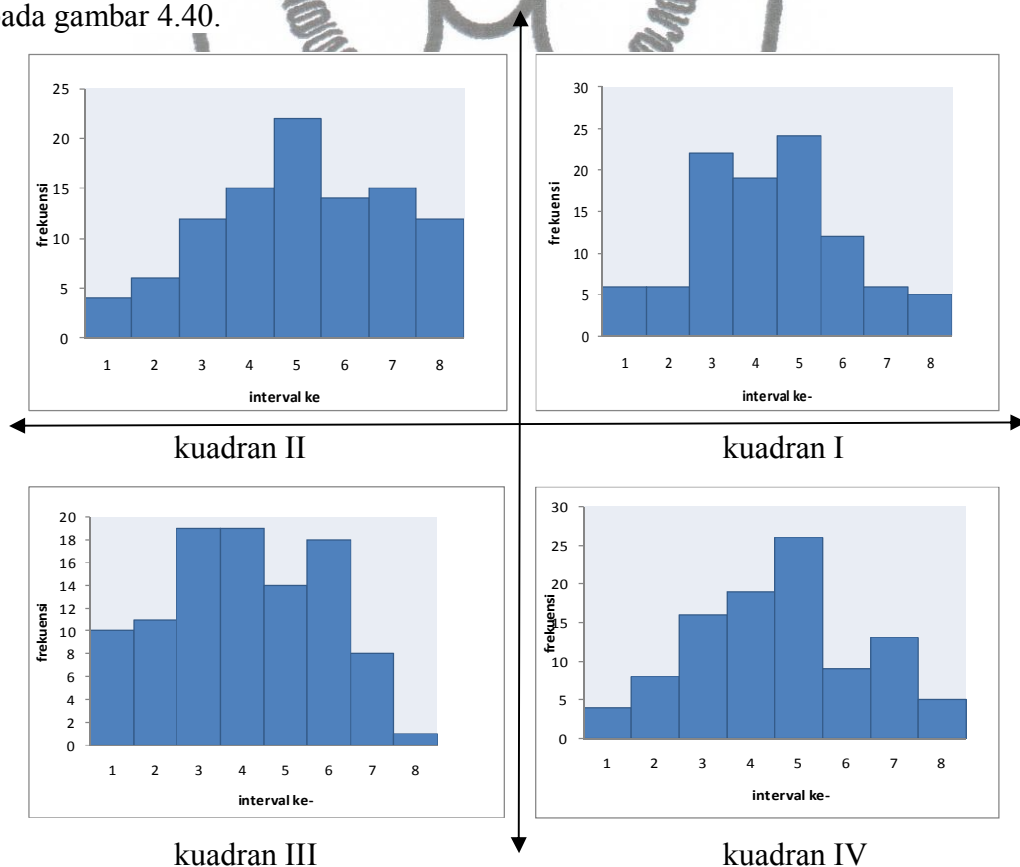
interval		batas kelas		nilai tengah	frekuensi
0,113	0,264	0,1125	0,2645	0,1885	10
0,265	0,416	0,2645	0,4165	0,3405	11
0,417	0,568	0,4165	0,5685	0,4925	19
0,569	0,720	0,5685	0,7205	0,6445	19
0,721	0,872	0,7205	0,8725	0,7965	14
0,873	1,024	0,8725	1,0245	0,9485	18
1,025	1,176	1,0245	1,1765	1,1005	8
1,177	1,328	1,1765	1,3285	1,2525	1

kuadran III

interval		batas kelas		nilai tengah	frekuensi
0,086	0,200	0,0855	0,2005	0,143	4
0,201	0,315	0,2005	0,3155	0,258	8
0,316	0,430	0,3155	0,4305	0,373	16
0,431	0,545	0,4305	0,5455	0,488	19
0,546	0,660	0,5455	0,6605	0,603	26
0,661	0,775	0,6605	0,7755	0,718	9
0,776	0,890	0,7755	0,8905	0,833	13
0,891	1,005	0,8905	1,0055	0,948	5

kuadran IV

Distribusi frekuensi tersebut jika dibuat dalam bentuk grafik batang ditampilkan pada gambar 4.40.

**Gambar 4.40 Grafik distribusi frekuensi nilai R tiap kuadran**

Deskripsi distribusi normal untuk masing-masing kuadran ditampilkan pada tabel 4.10 berikut.

**Tabel 4.10 Deskripsi distribusi untuk masing-masing kuadran**

	Statistic	Std. Error			
Kuad_1 Mean	,6098	,02239	Kuad_3 Mean	,6639	,02726
95% Confidence Lower Bound	,5653		95% Confidence Lower Bound	,6098	
Interval for Mean Upper Bound	,6542		Interval for Mean Upper Bound	,7180	
5% Trimmed Mean	,6066		5% Trimmed Mean	,6670	
Median	,5855		Median	,6720	
Variance	,050		Variance	,074	
Std. Deviation	,22387		Std. Deviation	,27261	
Minimum	,14		Minimum	,11	
Maximum	1,12		Maximum	1,31	
Range	,98		Range	1,20	
Interquartile Range	,29		Interquartile Range	,44	
Skewness	,175	,241	Skewness	-,077	,241
Kurtosis	-,141	,478	Kurtosis	-,723	,478
Kuad_2 Mean	,4233	,01678	Kuad_4 Mean	,5567	,02105
95% Confidence Lower Bound	,3900		95% Confidence Lower Bound	,5149	
Interval for Mean Upper Bound	,4566		Interval for Mean Upper Bound	,5984	
5% Trimmed Mean	,4273		5% Trimmed Mean	,5554	
Median	,4270		Median	,5635	
Variance	,028		Variance	,044	
Std. Deviation	,16776		Std. Deviation	,21054	
Minimum	,02		Minimum	,09	
Maximum	,72		Maximum	1,00	
Range	,70		Range	,91	
Interquartile Range	,26		Interquartile Range	,29	
Skewness	-,276	,241	Skewness	,034	,241
Kurtosis	-,555	,478	Kurtosis	-,612	,478

## BAB V

### ANALISIS DAN INTERPRETASI HASIL

Analisis dan interpretasi hasil penelitian bertujuan untuk menjelaskan hasil pada bab sebelumnya, sehingga hasil penelitian dapat diketahui dengan lebih jelas. Analisis yang dilakukan menitikberatkan pada hasil rancangan *force platform* dan pengujian *force platform* untuk orang normal.

#### 5.1 ANALISIS RANCANGAN FORCE PLATFORM

*Force platform* hasil rancangan memiliki hasil yang sesuai dengan kriteria yang dibuat dalam perancangan. Kriteria yang pertama yaitu *force platform* mampu mengukur GRF karena di setiap sudutnya dilengkapi dengan *load cell* sebagai sensor gaya. Ketika salah satu kaki objek berjalan pada *force platform*, *load cell* tertekan dan terjadi perubahan resistansi yang nilainya sebanding dengan besarnya tekanan selama objek berjalan.

Kriteria kedua yaitu mempunyai resolusi dan sensitifitas yang baik untuk mengukur gaya saat berjalan. Kriteria kedua ini dapat terpenuhi oleh hasil rancangan *force platform* yang dapat mengukur setiap perubahan tekanan selama objek berjalan yang ditampilkan dengan kurva GRF. Selama objek berjalan dengan kecepatan normal, kaki memberikan tekanan yang tidak seragam membentuk grafik yang membentuk dua puncak dan satu lembah.

Kriteria ketiga yaitu memiliki respon yang linear. *Force platform* hasil rancangan dikalibrasi untuk setiap pembacaan *load cell* dengan cara memberikan beban statis secara bertahap. Hasil dari kalibrasi memberikan hasil bahwa nilai yang ditampilkan pada LCD sesuai dengan besarnya beban yang diberikan. Pada gambar 4.35 ditampilkan grafik linearitas tampilan pada LCD terhadap besarnya beban yang diberikan. Grafik tersebut membuktikan bahwa output dari pembacaan *load cell* pada *force platform* memberikan respon yang linear terhadap kenaikan beban yang diberikan.

Kriteria keempat yaitu sederhana. Hasil dari rancangan *force platform* memberikan bentuk yang sederhana dengan bentuk segiempat. Bentuk segi empat



dipilih sesuai dengan bentuk *force platform* yang ada di pasaran, dengan tujuan mudah digunakan untuk mengukur gaya saat kaki menekan *force platform*.

Bagian papan atas dari *force platform* dibuat dari bahan kayu yang memberikan hasil *force platform* hasil rancangan cukup ringan sehingga dapat dipindahkan. Hal tersebut sesuai kriteria kelima dalam rancangan *force platform*. Perangkat amplifier dan ADC (*analog to digital converter*) yang pada *force platform* di pasaran merupakan bagian terpisah, pada hasil rancangan dibuat menyatu dalam *force platform*. Perangkat amplifier dan ADC yang menyatu dalam *force platform* membuat *force platform* lebih sederhana dan portabel karena tidak perlu menghubungkan *force platform* ke perangkat tersebut (amplifier dan ADC) ketika menggunakan *force platform*.

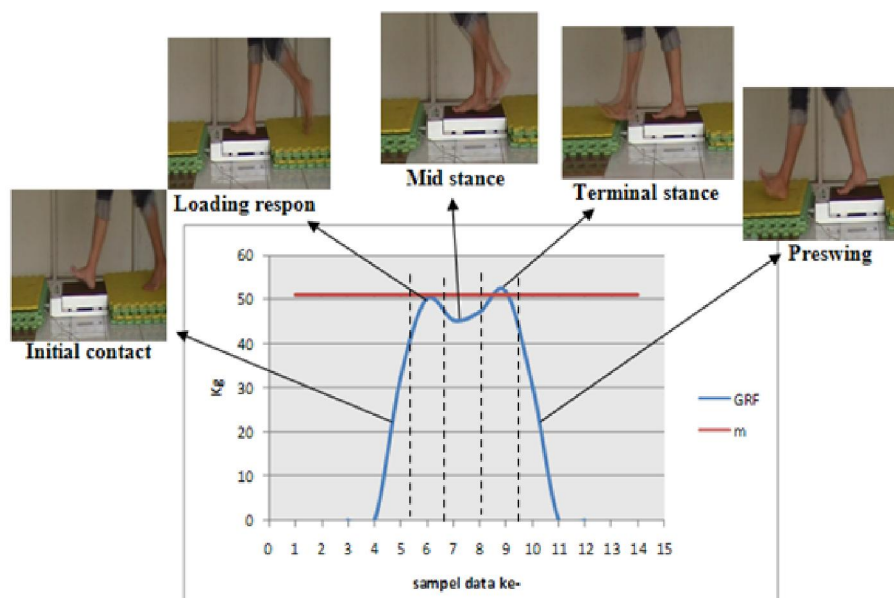
Kriteria keenam yaitu pengiriman data tanpa kabel. Pengiriman data tanpa kabel dimaksudkan untuk mengurangi penggunaan kabel, sehingga tidak mengganggu objek penelitian saat dilakukan pengambilan data. Fungsi dari kabel pada pengiriman data digantikan oleh perangkat *transmitter* (pemancar) dan *receiver* (penerima). Fungsi perangkat pengiriman data pada *force platform* hasil rancangan telah berfungsi dengan baik karena dapat mengirimkan data dari *transmitter* ke *receiver*. Pengaruh kecepatan data sampai tersimpan di *database* komputer pada penelitian ini lebih dipengaruhi oleh program tampilan dan penyimpanan data. Program yang dibuat dengan *visual basic* (Vb) pada penelitian ini masih kurang dalam mengimbangi kecepatan data yang dikirim melalui modul RF.

Bagian penerimaan data pada perangkat ini masih sederhana, fungsinya hanya sebatas menerima dan menyimpan data hasil pengukuran. Data yang telah disimpan kemudian diekspor ke *ms excell* untuk dilakukan pengolahan data. Penyajian grafik juga masih menggunakan bantuan *ms excell*. Hal tersebut dikarenakan program diberikan tugas yang cukup berat, sehingga membutuhkan waktu untuk menyelesaikannya. Ketika ada data masuk, program bertugas menyimpan data kemudian menghitung besarnya GRF dan letak COP. Sebelum program selesai melakukan tugas, data berikutnya sudah masuk. Kejadian tersebut membuat program belum mampu menyimpan semua data yang telah dikirim.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, program dikurangi tugasnya. Tugas awal yaitu menyimpan data dan menghitung GRF dan posisi COP, tugas yang baru yaitu hanya menyimpan data hasil pembacaan tiap *load cell*.

## 5.2 ANALISIS HASIL PEMBACAAN FORCE PLATFORM

*Force platform* hasil rancangan diuji coba untuk mengukur gaya selama objek berjalan pada *force platform*. Hasil pengukuran menunjukkan saat fase *stance* dalam siklus jalan besarnya GRF mengikuti pola pada gambar 5.1. Pola grafik tersebut menyerupai pola grafik GRF hasil pengukuran menggunakan *force platform* komersial yang ditampilkan pada gambar 4.4. Grafik pada gambar 5.1 terbentuk karena selama objek berjalan di atas *force platform* kaki tumpuan menekan *force platform*. Tekanan pertama terjadi ketika kaki tumpuan mulai menyentuh *force platform* yaitu tekanan oleh tumit (*initial contact*). Fase berikutnya setelah *initial contact* yaitu *loading respon*.



**Gambar 5.1 Ground reaction force selama siklus jalan**

Saat *loading respon* kaki tumpuan menyentuh sepenuhnya pada *force platform*. Puncak pertama pada grafik terjadi karena berat badan berpindah pada kaki tumpuan yang mengakibatkan percepatan ke bawah meningkat, sehingga tekanan pada *force platform* menjadi besar. Tekanan mulai turun ketika *mid*

*stance*, yaitu berat badan ditumpu sepenuhnya oleh kaki tumpuan dan kaki lain dalam kondisi mengayun. Percepatan ke bawah pada *mid stance* berkurang yang mengakibatkan tekanan pada *force platform* ikut berkurang. Puncak kedua pada grafik terjadi pada fase *terminal stance*. Pada fase ini, tekanan oleh kaki tumpuan meningkat untuk membantu kaki lain mengayun ke depan. Setelah kaki ayunan menyentuh lantai, kaki tumpuan bersiap untuk mengayun (*preswing*). Selama *preswing* tekanan dilakukan oleh ujung kaki tumpuan yang bersiap untuk mengayun.

Grafik GRF untuk objek dengan berat ringan (51 Kg), sedang (62Kg), dan berat(77Kg) mempunyai pola yang sama, mengindikasikan bahwa *force platform* rancangan dapat digunakan untuk mengukur objek dengan berat yang berbeda. Pengambilan data yang dilakukan 30 kali untuk masing-masing objek bertujuan untuk mengetahui keterulangan hasil pengukuran *force platform*. Pada tabel 4.5, *coefficient of variation* (CV)  $F_1$  (puncak pertama grafik GRF) terbesar yaitu untuk objek yang memiliki massa 51 Kg dengan prosentase CV 0,663%. Nilai CV 0,663% berarti rata-rata penyimpangan pengukuran terhadap nilai *mean* sebesar 0,663%. Hasil pengukuran untuk  $F_2$  (lembah pada grafik GRF) memberikan prosentase CV terbesar untuk objek dengan massa 51Kg sebesar 0,709%. CV 0,709% mempunyai maksud bahwa rata-rata penyimpangan pengukuran terhadap nilai *mean* sebesar 0,709%. Hasil pengukuran untuk  $F_3$  (puncak kedua grafik GRF) memberikan prosentase CV terbesar untuk objek dengan massa 62Kg sebesar 0,452%. Nilai %CV masing-masing objek untuk  $F_1$ ,  $F_2$ , dan  $F_3$  kurang dari 10% menunjukkan bahwa *force platform* mempunyai keterulangan pembacaan data yang baik. Pada tabel 4.6 juga memberikan informasi yang serupa dengan tabel 4.5 bahwa %CV masing-masing objek untuk  $F_1$ ,  $F_2$ , dan  $F_3$  kurang dari 10%, yang artinya untuk pengukuran GRF kaki kanan maupun kiri menghasilkan keterulangan data yang baik. Penelitian yang dilakukan oleh Stacoff, 2005 juga memberikan hasil bahwa di jalan datar, %CV kurang dari 10%. Stacoff melakukan penelitian dengan menggunakan 20 responden dengan 8-10 kali perulangan.

*commit to user*

*Force platform* hasil rancangan juga diuji coba dalam pengambilan data selama objek berdiri pada *force platform*. Hasil pembacaan kemudian digunakan untuk menentukan posisi *center of pressure* selama objek berdiri. Posisi COP seperti yang ditampilkan pada gambar 4.39 menunjukkan bahwa selama objek berdiri, posisi COP selalu bergeser. Pergeseran COP tersebut dikarenakan pusat massa tubuh yang berubah mengikuti postur tubuh. Selama berdiri tubuh ditopang oleh kedua kaki, pusat massa tubuh bergerak menyesuaikan postur tubuh untuk menjaga supaya tubuh dalam keadaan seimbang. Proses menjaga supaya tubuh tidak jatuh (seimbang) ketika berdiri melibatkan fungsi *ankle* dan atau fungsi *hip*.

Pergeseran COP dalam arah *anterior/posterior* (A/P) dipengaruhi oleh *ankle*, jika tubuh condong ke depan *ankle* akan berusaha mengembalikan posisi supaya tubuh kembali ke postur seimbang, begitu pula sebaliknya. Kemampuan sistem keseimbangan tubuh yang melibatkan *ankle* tersebut dinamakan *ankle strategy*. Pergeseran COP dalam arah *medial/lateral* (M/L) lebih cenderung dipengaruhi oleh tekanan oleh kaki kanan dan kiri. Tekanan kaki kanan dan kiri dalam sistem keseimbangan dipengaruhi oleh *hip*. Jika postur tubuh saat berdiri condong ke kanan, *hip* akan bergerak ke kanan yang menyebabkan kaki kanan menekan *force platform* dengan tujuan mengembalikan postur tubuh ke posisi seimbang. Sebaliknya jika postur tubuh saat berdiri condong ke kiri, *hip* akan bergerak ke kiri yang menyebabkan kaki kiri menekan *force platform*. Sistem keseimbangan postur tubuh yang melibatkan *hip* tersebut disebut *hip strategy*.

Pengukuran COP objek yang berdiri pada *force platform* di kuadran I, kuadran II, kuadran III, dan kuadran IV menghasilkan jarak pergeseran COP terhadap titik pusat COP (  $X_{centroid}$ ,  $Y_{centroid}$  ) berdistribusi normal untuk tiap kuadran. Artinya setiap kuadran pada *force platform* mempunyai hasil pengukuran yang berdistribusi sama (distribusi normal). Distribusi normal pada tiap kuadran jika dilihat dari tabel 4.10, dapat diketahui bahwa untuk kuadran I dan kuadran IV bentuk kurva normalnya cenderung menceng ke kanan karena nilai *skewness*nya positif (kuadran I 0,175 dan kuadran IV 0,034). Kuadran II dan kuadran III cenderung menceng ke kiri dengan nilai *skewness* untuk kuadran II -0,276 sedangkan kuadran III -0,077. *commit to user*



Pada penelitian ini objek yang digunakan yaitu orang normal dan menggunakan referensi orang normal. Jika objek yang diukur memiliki salah satu kaki yang tidak normal hasilnya tentu berbeda dengan orang normal. Objek yang berjalan dengan kaki tidak normal sebagai tumpuan melangkah lebih cepat supaya kaki normal (kaki yang satunya) cepat menginjak tanah. Sebaliknya jika kaki normal sebagai tumpuan, cenderung melangkah dengan waktu seperti orang normal. Dari fenomena tersebut dapat diketahui jika kaki tidak normal sebagai tumpuan, GRF membentuk satu puncak saja, sedangkan jika kaki normal sebagai tumpuan cenderung sama dengan GRF orang normal.

### 5.3 INTERPRETASI HASIL

*Force platform* hasil rancangan memiliki hasil yang sesuai dengan kriteria yang dibuat dalam perancangan. Pengujian dilakukan dengan pengukuran GRF dan COP. Pengukuran GRF dilakukan terhadap 3 laki-laki normal yang berjalan. Pengukuran dilakukan 30 kali untuk kaki tumpuan kanan dan kaki tumpuan kiri. Grafik hasil pengukuran GRF menyerupai pola grafik GRF dengan referensi orang normal yaitu membentuk grafik dua puncak yang dipisahkan oleh lembah (kurva M). Prosentase CV hasil pengukuran GRF <10%, yang berarti *force platform* memiliki keterulangan pembacaan data yang baik. Pengukuran pergeseran COP dilakukan terhadap objek laki-laki normal yang berdiri pada tiap kuadran *force platform*. Pengukuran pergeseran COP memberikan hasil bahwa setiap kuadran berdistribusi normal.

*Software* pada perangkat ini masih sebatas penyimpanan data, perhitungan dan penyajian kurva masih menggunakan *ms excell*. Ketika ada data masuk, program bertugas menyimpan data kemudian menghitung GRF dan COP. Sebelum program selesai melakukan tugas, data berikutnya sudah masuk. Kejadian tersebut membuat program belum mampu menyimpan semua data yang telah dikirim. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, program dikurangi tugasnya. Tugas awal yaitu menyimpan data dan menghitung GRF dan COP, tugas yang baru yaitu hanya menyimpan data hasil pembacaan tiap *load cell*.

*commit to user*

## BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membahas mengenai kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian dan saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut. Penjelasan dari kesimpulan dan saran diuraikan pada sub bab berikut ini.

### 6.1 KESIMPULAN

Bagian kesimpulan merupakan jawaban atas tujuan dari penelitian yang telah ditetapkan sebelumnya. Berdasarkan hasil perancangan dan pengambilan data dengan *force platform* rancangan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. *Force platform* hasil rancangan sesuai kriteria yang dibuat dalam perancangan, dapat mengukur *ground reaction force* objek yang berjalan dan menentukan *center of pressure* objek yang berdiri pada *force platform*.
2. Pengukuran *ground reaction force* tiga objek yang berjalan menghasilkan nilai %CV kurang dari 10%, menunjukkan *force platform* mempunyai keterulangan pembacaan data yang baik.
3. Pengukuran COP objek yang berdiri pada *force platform* menghasilkan pergeseran COP berdistribusi normal untuk tiap kuadran.

### 6.2 SARAN

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian untuk langkah pengembangan atau penelitian selanjutnya, sebagai berikut:

1. Software pada sistem *force platform* sebaiknya dirancang supaya dapat mengolah data dan menampilkan grafik. Pada penelitian ini pengolahan data masih dibantu dengan *ms excell*.
2. Sebaiknya dirancang bidang lintasan untuk berjalan pada *force platform*, sehingga proses pengukuran menjadi lebih mudah.

*commit to user*